

# **UNIVERSIDAD DE CUENCA**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

### **CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A CORTANTE NO DRENADA Y RESULTADOS DE UN ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES PARA UN SUELO LIMO ARCILLOSO SEMI-SATURADO DE CARIAMANGA-LOJA.**

#### **TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

#### **DIRECTOR:**

ING. BENIGNO ALFREDO VÁZQUEZ LÓPEZ. M.Sc.  
C.I.: 0101815892

#### **AUTORA:**

ERIKA ALEXANDRA ROJAS CABRERA.  
C.I.: 0302260971

**CUENCA – ECUADOR  
2017**



## RESUMEN

La importancia de la correlación entre velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) del Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y la resistencia cortante no drenada ( $S_u$ ) de un ensayo triaxial, reside en complementar y caracterizar zonas de estudio más amplias mediante la geofísica. Se lleva a cabo un estudio geotécnico y geofísico integrado de un suelo de arcilla limosa de baja compresibilidad en Cariamanga-Loja.

El objetivo de este trabajo es correlacionar  $V_s$  y  $S_u$  de una perforación de suelo semi saturado. Se realiza de dos maneras: la primera asume como guía el artículo “Relationship Between Undrained Shear Strength and Shear Wave Velocity for Clays” de Shehab S. Agaiby y Paul W. Mayne. La segunda utiliza un programa creado por la consultora Geo&Geo. De manera complementaria se realiza un ensayo de penetración estándar ( $SPT$ ) que estima la resistencia a cortante que debe tener un suelo en ciertos intervalos de números de golpes ( $N$ ) de  $SPT$ .

La correlación de  $V_s$  y  $S_u$ , da un coeficiente de determinación ( $R$ ) de 0.67, significa que si hay correlación pero no de manera significativa, pero hay que considerar que las resistencias obtenidas mediante los ensayos triaxiales se ven afectadas por una notable pérdida de humedad debido al almacenamiento de las muestras, y esto confirma la diferencia que existe entre  $S_u$  obtenida mediante el ensayo triaxial y  $S_u$  estimada con  $N-SPT$ . Existe la posibilidad de una mejor correlación con muestras de suelo inalteradas.

### Palabras claves:

Límites de Atterberg, correlación, análisis multicanal de ondas superficiales, velocidad de onda de corte, ensayo triaxial, resistencia a cortante, ensayo de penetración estándar.



## **ABSTRACT**

The importance of the correlation between shear wave velocity ( $V_s$ ) of the Multichannel Analysis of Surface Waves and the non-drained shear strength ( $S_u$ ) of a triaxial test lies in complementing and characterizing broader study areas through geophysics. An integrated geotechnical and geophysical study of a low compressibility silty clay soil in Cariamanga-Loja is carried out.

The objective of this work is to correlate  $V_s$  and  $S_u$  of a semi saturated soil drilling. It is done in two ways: the first is guided by the article "Relationship Between Undrained Shear Strength and Shear Wave Velocity for Clays" by Shehab S. Agaiby and Paul W. Mayne. The second uses a program created by Geo & Geo. In a complementary manner, a standard penetration test (SPT) is performed that estimates the shear strength that a soil must have in certain intervals of SPT stroke numbers ( $N$ ).

The correlation of  $V_s$  and  $S_u$ , gives a coefficient of determination ( $R$ ) of 0.67, this means that there is correlation but not in a significant way, but it must be considered that the resistances obtained by the triaxial tests are affected by a notable loss of humidity due to the storage of the samples, and this confirms the difference between  $S_u$  obtained by the triaxial test and  $S_u$  estimated with  $N$ -SPT. There is a possibility of better correlation with unaltered soil samples.

### **Key words:**

Atterberg Limits, correlation, multichannel analysis of surface waves, Shear wave velocity, triaxial test, Shear strength, standard penetration test



## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO .....	11
1.1.	Introducción .....	11
1.2.	Objetivos.....	14
1.2.1.	Objetivo General.....	14
1.2.2.	Objetivos específicos .....	14
1.3.	Ubicación del área de estudio de las muestras del suelo extraído. ....	14
1.4.	Descripción geológica del sitio .....	16
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO .....	18
2.1.	Clasificación de suelos .....	18
2.1.1.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos .....	18
2.1.2.	Límites de Atterberg .....	21
2.1.2.1.	Límite plástico (PL).....	21
2.1.2.2.	Límite líquido (LL) .....	21
2.2.	Prospección Geofísica .....	21
2.2.1.	Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW). ....	21
2.2.1.1.	Velocidad de Onda de Corte (Vs) .....	22
2.3.	SPT (Standard Penetration Test) .....	22
2.4.	Ensayo Triaxial. ....	23
2.4.1.	Resistencia a cortante del suelo .....	23
2.4.1.1.	Criterios de falla de Mohr-Coulomb.....	23
2.4.1.2.	Prueba no consolidada-no drenada .....	24
2.5.	Correlación entre velocidad de onda de corte y resistencia a cortante no drenada.....	25
2.6.	Relación entre N-SPT y su cohesión no drenada (Su). ....	27
CAPÍTULO III	MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
3.1.	Clasificación de suelos .....	29
3.1.1.	Equipo y procedimiento para límite líquido.....	29
3.1.2.	Equipo y procedimiento para límite plástico .....	29
3.2.	Prospección Geofísica .....	30
3.2.1.	Equipo y obtención de datos para MASW .....	30



3.3.	SPT.....	30
3.4.	Ensayo Triaxial .....	31
3.4.1.	Equipo.....	31
3.4.2.	Toma de muestras .....	32
3.5.	Correlación entre Vs y Su. ....	33
3.6.	Relación de Su de ensayos triaxiales y rango de valores de Su mediante N-SPT.....	33
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		34
4.1.	Clasificación de suelo .....	34
4.2.	Prospección Geofísica .....	35
4.4.	Ensayo Triaxial.....	36
4.5.	Correlación entre velocidad de onda de corte (Vs) y resistencia a cortante no drenada (Su) ..	39
4.6.	Relación entre N-SPT y su cohesión no drenada (Su).....	41
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		42
5.1.	Conclusiones .....	42
5.2.	Recomendaciones.....	44
CAPÍTULO VI LIMITACIONES Y TRABAJO A FUTURO .....		45
6.1.	Limitaciones .....	45
6.2.	Trabajo a futuro .....	45
BIBLIOGRAFÍA.....		46
ANEXOS.....		48
Anexo 1. Clasificación de suelos.....		48
Anexo 2. Informe de análisis MASW.....		49
Anexo 3. Evidencia de material. ....		53
Anexo 4. Ensayo Triaxial.....		58
Anexo 5. Humedades tomadas después del ensayo triaxial .....		70
Anexo 6. Registro de sondeo sin introducción de agua .....		73



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de Cantón Calvas.....	16
Figura 2. Carta de plasticidad (Das, 1985). ....	19
Figura 3. Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos limosos, inorgánicos y arcillosos (ASTM, 1998). ....	20
Figura 4. Círculos de Mohr del esfuerzo total y envolvente de falla ( $\phi = 0$ ), obtenidos en pruebas triaxiales no consolidadas-no drenadas. ....	25
Figura 5. Resistencia al corte no drenado por compresión triaxial frente a $V_s$ para arcillas firmes, suaves, jóvenes, envejecidas, rígidas, y suelo fisurado en escala logarítmica (Agaiby & Mayne, 2015). ....	26
Figura 6. Gráfico de cohesión en función de Velocidad de onda de corte. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 7. Máquina de compresión triaxial. ....	31
Figura 8. Curva de Fluidez. ....	34
Figura 9. Círculo de Mohr del ensayo triaxial a la profundidad de 3 a 3.5 metros. ....	36
Figura 10. Círculo de Mohr del ensayo triaxial a la profundidad de 5 a 5.5 metros. Esta muestra se conservó en un tubo Shelby. ....	37
Figura 11. Círculo de Mohr del ensayo triaxial a la profundidad de 11 a 11.5 metros. ....	37
Figura 12. Círculo de Mohr del ensayo triaxial a la profundidad de 13.5 a 14 metros. Esta muestra se conservó en un tubo Shelby. ....	37
Figura 13. Círculo de Mohr del ensayo triaxial la profundidad de 23 a 23.5 metros. ....	38
Figura 14. Análisis de correlación entre Velocidad de Onda de Corte y Resistencia a Cortante no Drenada. ....	40
Figura 15. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 1. ....	58
Figura 16. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 2. ....	59
Figura 17. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 3. ....	60
Figura 18. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 4. ....	61
Figura 19. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 5. ....	62
Figura 20. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 6. ....	63
Figura 21. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 7. ....	64
Figura 22. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 8. ....	65
Figura 23. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 9. ....	66
Figura 24. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 13. ....	67
Figura 25. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 14. ....	68
Figura 26. Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 15. ....	69



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica del cantón Cantón Calvas (GAD Cantonal Calvas, 2014). .....	14
Tabla 2. Formulaciones geológicas del Cantón Calvas .....	16
Tabla 3. Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos (Das, 1985). .....	19
Tabla 4. Resistencia a corte no drenada aproximada para suelos cohesivos basados en recuentos de soplado de SPT. Ref (a) (Tschebotarioff, 1973) y,Ref (b)(Parcher & Means, 1968). .....	28
Tabla 5. Límites de Atterberg medidos en laboratorio. ....	34
Tabla 6. Valores N de SPT medidos en campo y N60 corregidos. ....	35
Tabla 7. Tabla de resumen de resultados de cohesión y fricción obtenidos mediante el ensayo triaxial. ....	38
Tabla 8. Valor de Vs y Su calculada mediante la Ecuación 7.....	40
Tabla 9. Valores de cohesión y fricción calculados con software de Geo&Geo. ....	41
Tabla 10. Límite Líquido.....	48
Tabla 11. Límite Plástico.....	48
Tabla 12. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 1 antes del ensayo. ....	58
Tabla 13. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 1. ....	58
Tabla 14. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 2 antes del ensayo. ....	59
Tabla 15. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 2. ....	59
Tabla 16. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 3 antes del ensayo. ....	60
Tabla 17. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 3. ....	60
Tabla 18. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 4 antes del ensayo. ....	61
Tabla 19. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 4 .....	61
Tabla 20. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 5 antes del ensayo. ....	62
Tabla 21. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 5. ....	62
Tabla 22. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 6 antes del ensayo. ....	63
Tabla 23. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 6. ....	63
Tabla 24. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 7 antes del ensayo. ....	64
Tabla 25. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 7 .....	64
Tabla 26. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 8 antes del ensayo. ....	65
Tabla 27. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 8 .....	65
Tabla 28. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 9 antes del ensayo. ....	66
Tabla 29. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 9 .....	66
Tabla 30. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 13 antes del ensayo...67	67
Tabla 31. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 13. ...67	67
Tabla 32. Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 14 antes del ensay. ....	68
Tabla 33. Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 14. ...68	68



**Tabla 34.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 15 antes del ensayo...69

**Tabla 35.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 15. ...69

**Tabla 36.** Datos para tomar la humedad de la muestra 1, 2 y 3.....70

**Tabla 37.** Datos para tomar la humedad de la muestra 4, 5 y 6.....70

**Tabla 38.** Datos para tomar la humedad de la muestra 7, 8 y 9.....71

**Tabla 39.** Datos para tomar la humedad de la muestra 13, 14 y 15.....71

## ÍNDICE DE ECUACIONES

**Ecuación 1.** Índice de Plasticidad..... 21

**Ecuación 2.** Número de golpes corregido en función de N tomado en campo y de  $E_r$ ..... 22

**Ecuación 3.** Número de golpes corregido en función de N tomado en campo ..... 23

**Ecuación 4.** Relación entre esfuerzo normal y esfuerzo cortante ..... 23

**Ecuación 5.** Esfuerzo cortante en función de la cohesión, el esfuerzo normal y el ángulo de fricción interno ..... 24

**Ecuación 6.** Esfuerzo total con  $\phi = 0$  ..... 24

**Ecuación 7.** Relación entre Velocidad de Corte y Resistencia a cortante  $S_u$ . ..... 26





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

## CLAÚSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca  
Cláusula de Propiedad Intelectual

---

ERIKA ALEXANDRA ROJAS CABRERA, autora del Trabajo de Titulación “CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A CORTANTE NO DRENADA Y RESULTADOS DE UN ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES PARA UN SUELO LIMO ARCILLOSO SEMI-SATURADO DE CARIAMANGA-LOJA”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, Noviembre de 2017

ERIKA ALEXANDRA ROJAS CABRERA.  
C.I.: 0302260971



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

## CLAÚSULA DE DERECHO DE AUTOR



Universidad de Cuenca  
Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio Institucional

---

ERIKA ALEXANDRA ROJAS CABRERA, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA A CORTANTE NO DRENADA Y RESULTADOS DE UN ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES PARA UN SUELO LIMO ARCILLOSO SEMI-SATURADO DE CARIAMANGA-LOJA”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, Noviembre de 2017

ERIKA ALEXANDRA ROJAS CABRERA.

C.I.: 0302260971



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios que me bendice y me permite culminar satisfactoriamente mi carrera universitaria.

Un particular agradecimiento a mi tutor, Ing. Alfredo Vázquez López MSc., y a su empresa Geo&Geo por todas las ideas y apoyo brindado. Por motivarme a culminar este trabajo de manera exitosa, con paciencia y dedicación en todo momento.

Un especial agradecimiento a la Ing. Karla Santacruz Reyes., quién con su vasto conocimiento, disponibilidad y gentileza me ayudó en la realización de los ensayos de laboratorio y en la ejecución de este trabajo.

Al Ing. Rolando Armas Novoa., quién con su experiencia y amplio conocimiento ha sabido guiarme y aconsejarme para efectuar un excelente trabajo de titulación.

A los profesores que conforman la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, quienes han sabido dirigirme eficientemente a lo largo de la carrera.

## **DEDICATORIA**

Para mi familia, con mucho cariño; especialmente para mis padres, quienes han sido mi sustento todo el tiempo y me han enseñado que con dedicación y perseverancia puedo alcanzar mis metas.



## CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

### 1.1.Introducción

Los resultados obtenidos de análisis geotécnicos generalmente se ven afectados por una incertidumbre, producto de las propiedades heterogéneas de los materiales ensayados y factores aleatorios como remoldeo de muestras, pruebas de laboratorio, etc. (Pineda & Auvinet, 2013). Esta incertidumbre puede ser resuelta a través de corroboraciones de resultados usando diferentes métodos como la correlación de variables.

La correlación indica la correspondencia o dependencia que existe entre 2 variables, determina si los cambios de una variable influyen en los cambios de la otra (Martinez & Camacho, 2002). La importancia de la correlación entre velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) del Análisis Multicanal de Ondas Superficiales y la resistencia a cortante no drenada ( $S_u$ ) para un suelo limo arcilloso semi-saturado, radica en complementar y caracterizar zonas más amplias mediante la geofísica y adquirir buenas aproximaciones de la resistencia cortante del material sin la necesidad de realizar ensayos de laboratorio.

El estudio de las condiciones geofísicas de un sitio representa un factor esencial en la determinación de las propiedades físicas del subsuelo. La técnica de Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW), que se utiliza para determinar  $V_s$ , ha generado un interés considerable en la comunidad geofísica. Esto se debe a la facilidad de llevar a cabo la prueba y el análisis de datos (Donohue, Long, & Gavin, 2004).

Por otro lado, muchos problemas geotécnicos requieren de una evaluación de la resistencia cortante del suelo, ya que esta influye directamente en: estabilidad de un talud, capacidad de carga admisible para una cimentación, fundaciones de estructuras, el empuje de un suelo contra un muro de contención, etc. (Das, 1985).

Los sondeos geofísicos a comparación de los métodos geotécnicos no son destructivos y se pueden utilizar en terrenos escarpados o de difícil acceso (Campano Calvo, Del Río, & Campano



Aguirre, 2013), se puede analizar grandes extensiones de terreno en un tiempo relativamente corto, y además a un costo relativamente bajo; es por esto que se han hecho diversas contribuciones importantes a la solución de problemas geotécnicos mediante prospección geofísica. El perfil de la velocidad de onda de corte “in-situ” usualmente se lo utiliza para evaluar varios parámetros del suelo tales como rigidez, peso unitario y el historial del esfuerzo de tensión (Agaiby & Mayne, 2015); sin embargo su utilidad puede ir más allá de la obtención de estos parámetros.

Muchos autores consideran que mediciones “in-situ” exactas y detalladas son críticas y esenciales para los campos de geotecnia y geofísica y pueden utilizarse para proporcionar una estimación aceptable de la resistencia cortante no drenada sin la necesidad de utilizar muestras perturbadas de baja calidad o confiar en resultados inciertos de pruebas de laboratorio afectadas por procedimientos de preparación o pre-consolidación de muestras (Agaiby & Mayne, 2015).

En base al artículo “Relationship Between Undrained Shear Strength and Shear Wave Velocity for Clays” de Shehab S. Agaiby y Paul W. Mayne, que es una recopilación meticulosa de datos de un total de 37 sitios, distribuidos en diferentes lugares del mundo, de pruebas geotécnicas bien documentadas; los autores proponen fórmulas para la determinación de resistencia a cortante ( $S_{urc}$ ) en función de  $V_s$  para arcillas intactas, arcillas fisuradas y una fórmula generalizada en la que tienen en cuenta otros parámetros del suelo como por ejemplo: la relación de vacíos, los límites de Atterberg y las tensiones verticales efectivas. Los sitios en estudio incluyen, en su mayoría, desde arcillas firmes, suaves y jóvenes a arcillas envejecidas; pero también, consideran arcillas rígidas a duras, y suelo fisurado de grano fino (Agaiby & Mayne, 2015).

Se utiliza también, otra correlación, entre velocidad de onda de corte, y cohesión y fricción de un suelo, esta es una propuesta de la empresa de geología, geofísica y geotecnia *Geo&Geo*, la cual tiene una recopilación de información de diferentes sectores del austro ecuatoriano. Se han obtenido datos de: cohesión y fricción de los suelos (arcillas y limos) en función de  $V_s$ , hasta alcanzar un factor de seguridad de 1; mediante análisis de estabilidad de taludes de deslizamientos reales. La hoja de cálculo de Excel se expone para determinar si el suelo de Cariamanga-Loja se relaciona con dicho estudio.



Siguiendo las recomendaciones de la literatura antes expuesta, se considera útil establecer correlaciones entre la velocidad de onda de corte y la resistencia cortante del suelo para un caso específico de nuestra región. Con esta correlación se podrá verificar que este suelo encaja en correlaciones halladas para otros materiales o quizá que este material posee su propia correlación.

La metodología aplicada en el presente estudio se basa en el desarrollo de 15 ensayos triaxiales rápidos fundamentados en la normativa de la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM), que consiste en aplicar esfuerzos verticales y laterales a las muestras de suelo debidamente preparadas, para representar los esfuerzos a los que está sometido el suelo en condiciones naturales y así determinar la cohesión del suelo.

Se realiza dos análisis: el primero es la correlación de  $S_u$  medida mediante el ensayo triaxial y  $S_{UTC}$  que es la resistencia a cortante que se obtuvo con la fórmula propuesta por Agaiby y Mayne, de esta manera se puede establecer si existe o no correlación entre  $V_s$  y  $S_u$ . El segundo análisis es entre la cohesión y fricción obtenida mediante el ensayo triaxial y la cohesión y fricción obtenida con la propuesta de *Geo&Geo*.

Se cuenta además con resultados de ensayos SPT en la fecha de obtención de las muestras (27/09/2016). Se realiza un análisis entre  $S_u$  obtenida mediante ensayos triaxiales y un rango de valores de  $S_u$  sugeridos por (Tschebotarioff, 1973) y, (Parcher & Means, 1968) respectivamente.

Por lo tanto, se realiza el análisis antes mencionado en procura de determinar si existe una correlación útil que permita caracterizar geotécnicamente zonas más amplias mediante la geofísica evitando los problemas relacionados a una caracterización puramente geotécnica.



## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

Correlacionar el parámetro geofísico, velocidad de onda de corte obtenido con el equipo de análisis multicanal de ondas superficiales y resistencia cortante del ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU) de una perforación de suelo semi saturado.

### 1.2.2. Objetivos específicos

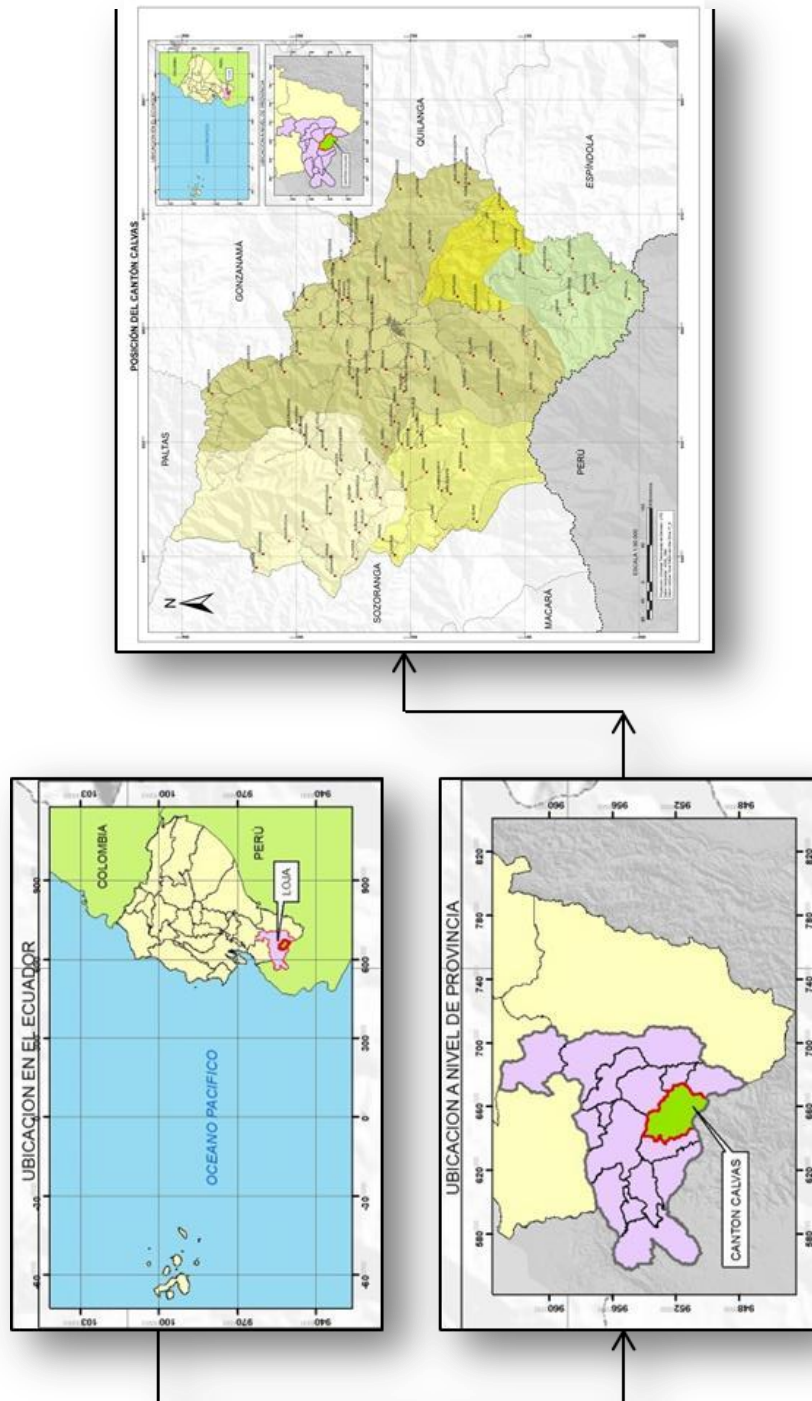
1. Clasificar una muestra de suelo extraída de Cariamanga-Loja por el método SUCS.
2. Realizar ensayos triaxiales (UU) a distintas profundidades del suelo.
3. Determinar el parámetro geotécnico ( $S_u$ ) a distintas profundidades.
4. Comparar la correlación de ( $V_s$ ) y ( $S_u$ ) con correlaciones establecidas por otros autores.
5. Relacionar ( $S_u$ ) de ensayo triaxial y rango de valores de ( $S_u$ ) estimados con N-SPT.

## 1.3. Ubicación del área de estudio de las muestras del suelo extraído.

El área de estudio se encuentra en la provincia de Loja, en la capital del cantón Calvas, Cariamanga, las coordenadas se observan en la Tabla 1 y su ubicación geográfica en la Figura 1.

**Tabla 1.** Ubicación geográfica del cantón Cantón Calvas (GAD Cantonal Calvas, 2014).

COORDENADAS/ ZONA 17 SUR/WG84		
Norte	641725	9541018
Sur	663283	9499192
Este	674708	9515585
Oeste	636459	9526414







**Figura 1.** Ubicación geográfica de Cantón Calvas

Fuente: SENPLADES, Archivos Cartográficos 2014

#### 1.4.Descripción geológica del sitio

Al Sur del Ecuador las elevaciones constituidas por rocas volcánicas parecen haber sido formadas subarealmente con depósitos parciales del Mesozoico. En la Tabla 2. se muestra las formaciones geológicas que se encuentran en el cantón Calvas (GAD Cantonal Calvas, 2014):

**Tabla 2.** Formulaciones geológicas del Cantón Calvas

DESCRIPCIÓN	Área (ha)	(%)
Grupo Saraguro	11053,21	12,94
Unidad Sacapalca	31869,3	37,31
Unidad Quillosara	891,8	1,04
Unidad Punta de Piedra	9636,91	11,28
Depósitos Aluviales	111,93	0,13
Depósitos Coluviales	1184,38	1,39
Depósitos Coluvio Aluviales	898,55	1,05
Depósitos Aluviales Consolidados	429,02	0,5
Batolito de Tangua	28875,15	33,8
No Aplicable	478,07	0,56
TOTAL	85428,32	100

Fuente: (GAD Cantonal Calvas, 2014).

**Grupo Saraguro:** Erosión hídrica en: barrancos, es susceptible a movimientos de tipo flujo, se encuentra sobre rocas andesíticas (GAD Cantonal Calvas, 2014).

**Unidad Sacapalca:** Conformada por: tobas andesíticas verdes muy meteorizadas y lavas andesíticas a andesíticas-basálticas (GAD Cantonal Calvas, 2014).

**Unidad Quillosara:** Suelos residuales producto de un alto grado de meteorización de rocas



volcano sedimentarias con intercalaciones de lavas (GAD Cantonal Calvas, 2014).

**Unidad Punta de Piedra:** La conforma: basalto oceánicos, actualmente alterados intercalados con brechas volcánicas (GAD Cantonal Calvas, 2014).

**Depósitos Aluviales:** Son materiales transportados y depositados por el agua. Su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Se distribuyen en forma estratiforme, con cierta clasificación, variando mucho su densidad.

Son suelos muy anisotrópicos en su distribución, sus propiedades están estrechamente relacionadas con la granulometría. La permeabilidad depende de la granulometría y generalmente presentan un nivel freático alto (GAD Cantonal Calvas, 2014).

**Depósitos Coluviales y Coluvio Aluviales:** La conforman arcillas, limos, arenas, gravas y boleas, dentro del territorio del cantón Calvas abarca 2082,93 ha, que corresponde al 2,44 % (GAD Cantonal Calvas, 2014).

**Batolito de Tangula:** La constituyen rocas intrusivas de tipo granodiorita y granitos que se extiende desde Cariamanga a Macará. El cuerpo intrusivo superficialmente está muy meteorizado, macroscópicamente está dominado por una roca de color gris-rojizo, grano grueso (GAD Cantonal Calvas, 2014).



## CAPÍTULO II                      MARCO TEÓRICO

### 2.1. Clasificación de suelos

Según el comportamiento técnico de los suelos estos se clasifican en grupos y subgrupos. Esto se da para poseer un lenguaje común el momento de expresar las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas. Existen dos sistemas de clasificación que consideran la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos. Éstos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Los ingenieros geotécnicos usualmente usan el Sistema Unificado (Das, 1985).

#### 2.1.1. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

La forma original de este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En 1952 el sistema fue revisado y ahora es muy usado por los ingenieros (Das, 1985). El Sistema Unificado de Clasificación se presenta en la Tabla 3.

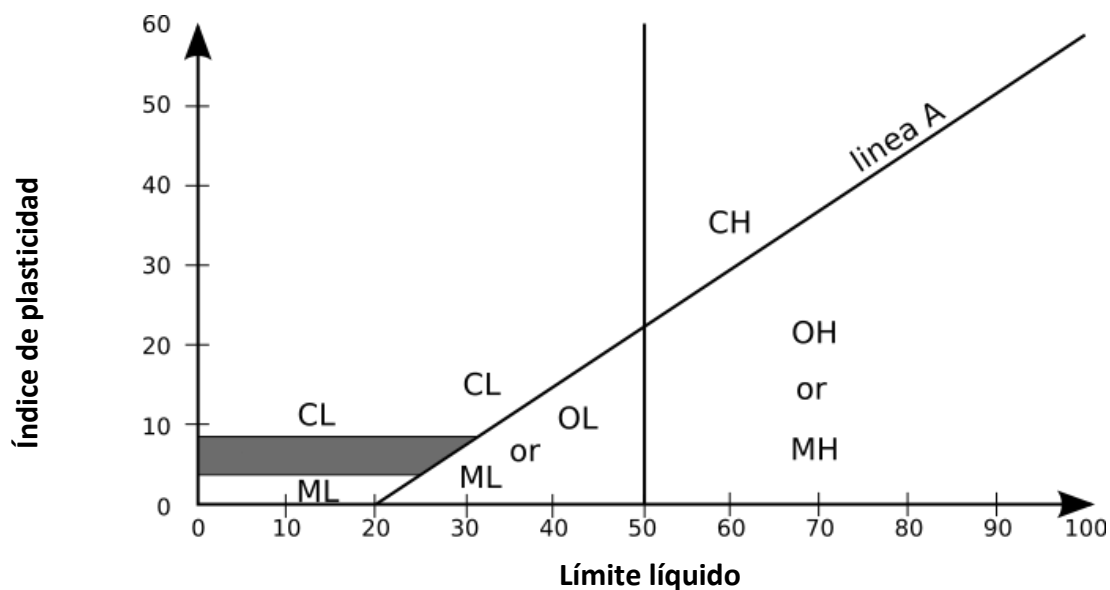
Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos. Otros símbolos son también usados para la clasificación (Das, 1985):

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50)

- H: alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

**Tabla 3.** Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos (Das, 1985).

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI > 7$ ; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la Fig. 2)
ML	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI < 4$ ; o se grafica debajo de la línea A (véase la zona ML en la Fig. 2)
OL	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$ ; $LL < 50$ (véase zona OL en la Fig. 2)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; PI se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la CH en la Fig. 2)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; PI se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la Fig. 2)
OH	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$ ; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la Fig. 2)
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la Fig. 2
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos



**Figura 2.** Carta de plasticidad (Das, 1985).

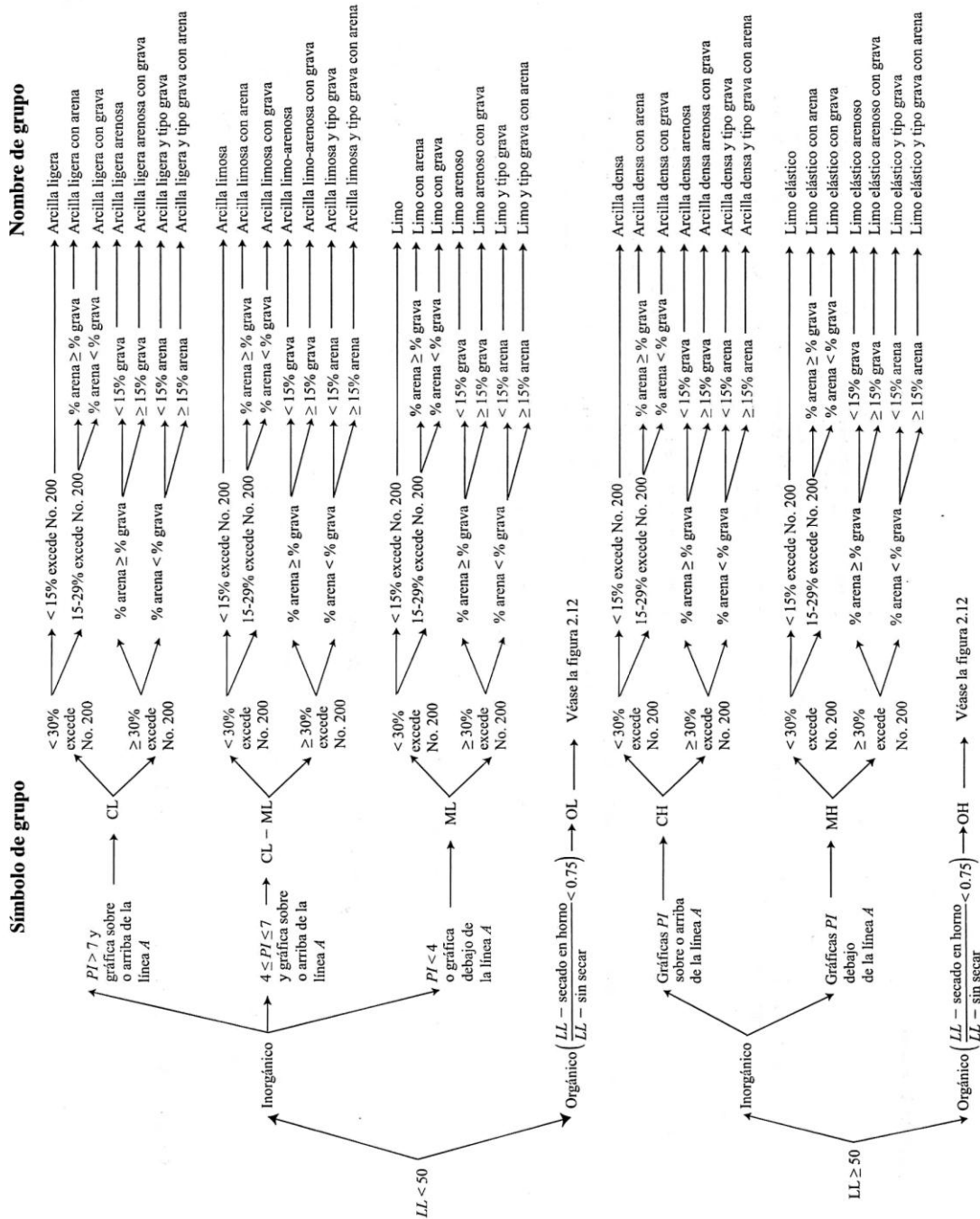


Figura 3. Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos limosos, inorgánicos y arcillosos (ASTM, 1998).



### 2.1.2. Límites de Atterberg

El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. Esos límites se conocen también como límites de Atterberg (Das, 1985).

#### 2.1.2.1. Límite plástico (PL)

El límite plástico se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. El índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo (Das, 1985).

$$PI = LL - PL$$

*Ecuación 1. Índice de Plasticidad*

#### 2.1.2.2. Límite líquido (LL)

Es la humedad a partir de la cual un suelo deja de tener un comportamiento plástico y pasa a tener un comportamiento viscoso, es decir, es la humedad límite entre el estado plástico y el estado viscoso; se utiliza un dispositivo mecánico (Copa de Casagrande) en el que, con un determinado número de golpes, se establece la fluencia del suelo (Das, 1985).

## 2.2. Prospección Geofísica

### 2.2.1. Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW).

El método *MASW*, fue introducido a finales de los 90 por el Kansas Geological Survey. Es un método sísmico no destructivo, por lo que en comparación con los métodos más tradicionales, por ejemplo *downhole* o *crosshole*, tiene ventajas significativas en su rapidez, costo y detección de estratos de suelos blandos, bajo otros más rígidos (Park, Miller, & Xia, 1999).

Se basa en la propiedad de dispersión de las ondas superficiales para calcular la velocidad de fase de estas ondas a distintas frecuencias. Luego, a través de un proceso de inversión no lineal, se busca un perfil teórico que se ajuste a la curva de dispersión experimental (Sáez, Humire, Leyton, & Yáñez, 2013).



### 2.2.1.1. Velocidad de Onda de Corte ( $V_s$ )

$V_s$  ha sido largamente reconocida como un factor clave para la caracterización sísmica de una zona. Se mide de forma más confiable “in-situ” que en el laboratorio (Mitchell, 1997).  $V_s$  puede ser estimada al medir e invertir las características dispersivas de las ondas superficiales en un sitio dado (Parrales, 2016).

Debido a que la velocidad de la onda S es propiedad dominante del modo fundamental de la velocidad de fase de las ondas Rayleigh, y la onda Rayleigh tiene menor atenuación, alta relación señal/ruido y una inmunidad más fuerte a la interferencia; las velocidades de la onda S pueden estimarse rápidamente de la inversión de los datos de la onda Rayleigh (Park et al., 1999).

### 2.3. SPT (Standard Penetration Test)

La Prueba de Penetración Estándar (*SPT*) es una de las pruebas más antiguas para la exploración geotécnica. Es útil en una amplia variedad de suelos, desde arcillas débiles y arenas sueltas hasta arcillas muy duras y arenas densas. Proporciona una medida de la resistencia del suelo a la penetración a través de la cuenta del número de golpes " $N$ ", y una muestra de suelo perturbada pero representativa que se usa para las pruebas de clasificación e índice (Mitchell, 1997).

Se pueden utilizar tres tipos de martillos en el *SPT*. El martillo de seguridad es el método más común, proporciona alrededor del 60% de la energía de caída libre máxima. Resulta pues evidente que, si los *SPT* modernos dan mayor energía, el golpeo  $N$  resultante debe corregirse por un factor de energía, de manera que se obtenga un valor *SPT* normalizado, denominado  $N_{60}$  (Fernández, 2010).

$$N_{60} = N \cdot \frac{E_r}{60}$$

**Ecuación 2.** Número de golpes corregido en función de  $N$  (tomado en campo) y de  $E_r$ .

Dónde:

$E_r$ : Porcentaje de energía de golpeo obtenida con los métodos automáticos.

$N$ : Valor *SPT* medido en campo.



Utilizando los métodos propuestos por (Skempton, 1986) y Bosch y Ventayol Geoserveis, S.L. se dedujo ya en 1.994 que la energía suministrada por el equipo *SPT* automático, debía ser del orden del 75% de la teórica (Fernández, 2010), con lo que la corrección a aplicar, por el concepto energía sería de:

$$N_{60} = N \cdot \frac{75}{60} = N \cdot 1,25$$

**Ecuación 3.** Número de golpes corregido en función de *N* (medido en campo).

Una ventaja adicional es que al ser la cuchara del *SPT* un toma muestras, permite visualizar el terreno donde se ha realizado la prueba y utilizar esas muestras para realizar ensayos de clasificación e identificación, y en el caso de terreno arcilloso, de obtención de la humedad natural (Fernández, 2010).

## 2.4. Ensayo Triaxial.

### 2.4.1. Resistencia a cortante del suelo

#### 2.4.1.1. Criterios de falla de Mohr-Coulomb

Mohr (1900) presentó una teoría sobre la ruptura de los materiales. Esta teoría afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no sólo por la presencia de un esfuerzo normal máximo o bien de un esfuerzo cortante máximo. Así entonces, la relación funcional entre un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante sobre un plano de falla se expresa en la forma:

$$T_f = f(\sigma)$$

**Ecuación 4.** Relación entre esfuerzo normal y esfuerzo cortante

Dónde:

$T_f$  = Esfuerzo cortante sobre el plano de falla.

$\sigma$  = Esfuerzo normal sobre el plano de falla.





La envolvente de falla definida (Ecuación 1) es una línea curva. Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Esta relación se escribe de la siguiente manera y se denomina criterio de falla de Mohr-Coulomb:

$$T_f = c + \sigma \tan(\Phi)$$

**Ecuación 5.** Esfuerzo cortante en función de la cohesión, el esfuerzo normal y el ángulo de fricción interno.

Dónde:

$c$  = Cohesión.

$\Phi$  = Ángulo de fricción interna.

#### 2.4.1.2. Prueba no consolidada-no drenada

En las pruebas no consolidadas-no drenadas, el drenaje del espécimen de suelo no se permite durante la aplicación de la presión de la cámara ( $\sigma_3$ ). El espécimen de prueba es cortado a la falla por la aplicación del esfuerzo desviador ( $\Delta\sigma_d$ ). Como el drenaje no se permite en ninguna etapa, la prueba se lleva a cabo muy rápidamente. Debido a la aplicación de la presión de confinamiento en la cámara  $\sigma_3$ , la presión de poro del agua en el espécimen de suelo se incrementará (Das, 1985).

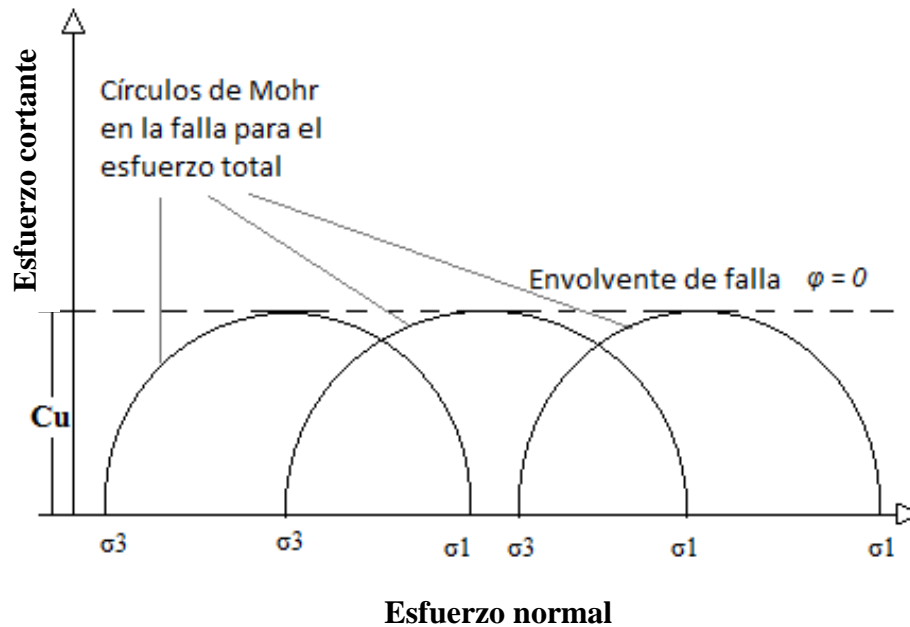
El esfuerzo axial agregado en la falla ( $\Delta\sigma_d$ ) es prácticamente el mismo independientemente de la presión de confinamiento en la cámara, como muestra la Figura 4, la envolvente de falla para los círculos de Mohr del esfuerzo total se vuelve una línea horizontal y por consiguiente se denomina una condición de  $\phi = 0$  (Das, 1985). Sin embargo, si el suelo no está completamente saturado, la envolvente puede exhibir un ángulo de fricción diferente de cero.

$$\tau_f = C_u$$

**Ecuación 6.** Esfuerzo total con  $\phi = 0$

Dónde:

$C_u$ : resistencia a cortante no drenada, es igual al radio de los círculos de Mohr.



**Figura 4.** Círculos de Mohr del esfuerzo total y envolvente de falla ( $\phi = 0$ ), obtenidos en pruebas triaxiales no consolidadas-no drenadas.

## 2.5. Correlación entre velocidad de onda de corte y resistencia a cortante no drenada

El artículo “Relationship Between Undrained Shear Strength and Shear Wave Velocity for Clays” de Shehab S. Agaiby y Paul W. Mayne, es una recopilación meticulosa de datos de un total de 37 sitios, distribuidos en diferentes sitios del mundo, de pruebas geotécnicas bien documentadas; los ensayos de laboratorio incluyen una gama alta con un enfoque en el modo de compresión triaxial, denominado  $S_u$ . Con respecto a  $V_s$ , se recopilan datos in situ utilizando la velocidad de onda de corte de fondo de pozo. Los autores proponen fórmulas para la determinación de  $S_u$  en función de  $V_s$  para arcillas intactas, arcillas fisuradas y una fórmula generalizada en la que tienen en cuenta otros parámetros del suelo como por ejemplo: la relación de vacíos, los límites de Atterberg y las tensiones verticales efectivas. Los sitios en estudio incluyen, en su mayoría, desde arcillas firmes, suaves y jóvenes a arcillas envejecidas; pero también, consideran arcillas rígidas a duras, y suelo fisurado de grano fino (Agaiby & Mayne, 2015).

La base de datos compilada se puede clasificar en dos categorías principales:

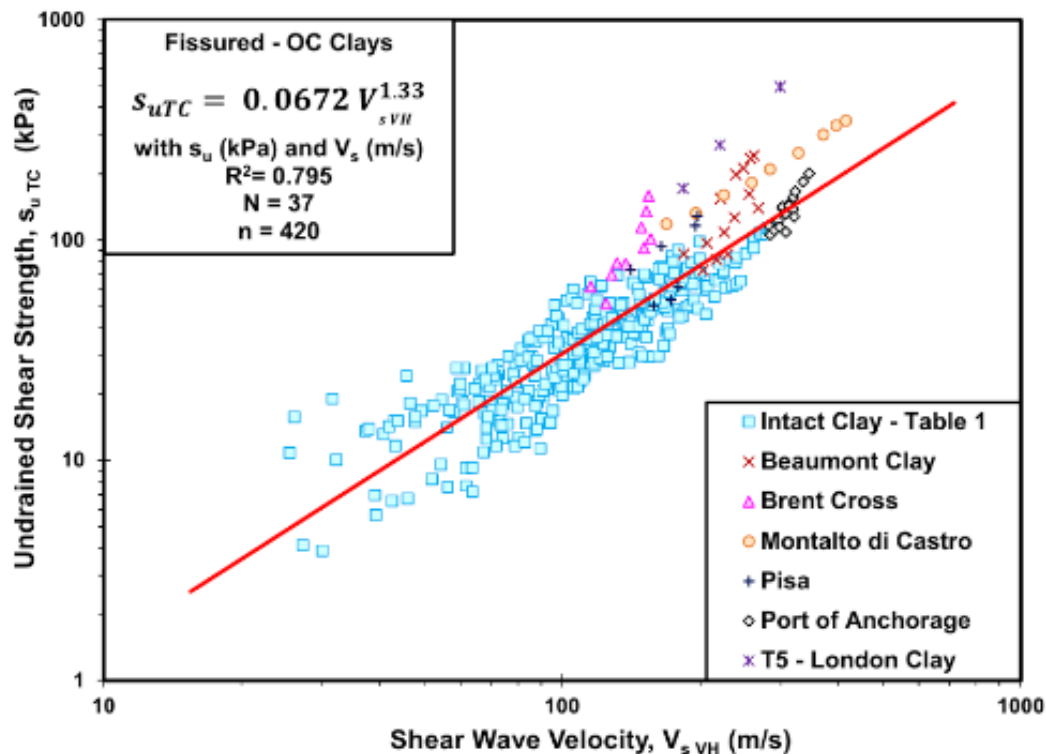
1. Arcillas firmes, suaves y jóvenes. Incluyen 31 sitios de arcilla con un total de 360 pruebas geotécnicas con sus mediciones correspondientes de  $V_s$  (Agaiby & Mayne, 2015).

2. Arcillas sobre consolidado y fisuradas. Incluyen 6 sitios de arcilla con un total de 60 pruebas geotécnicas junto con sus correspondientes valores  $V_s$  a las mismas elevaciones (Agaiby & Mayne, 2015).

Al considerar los sitios geotécnicos del numeral 2, la Figura 5 muestra la relación estudiada para todas las arcillas, firmes, suaves, jóvenes, envejecidas, rígidas, y suelo fisurado. La relación entre  $S_{uTC}$  (kPa) y  $V_s$  (m/seg) se puede expresar de la siguiente manera (Agaiby & Mayne, 2015).

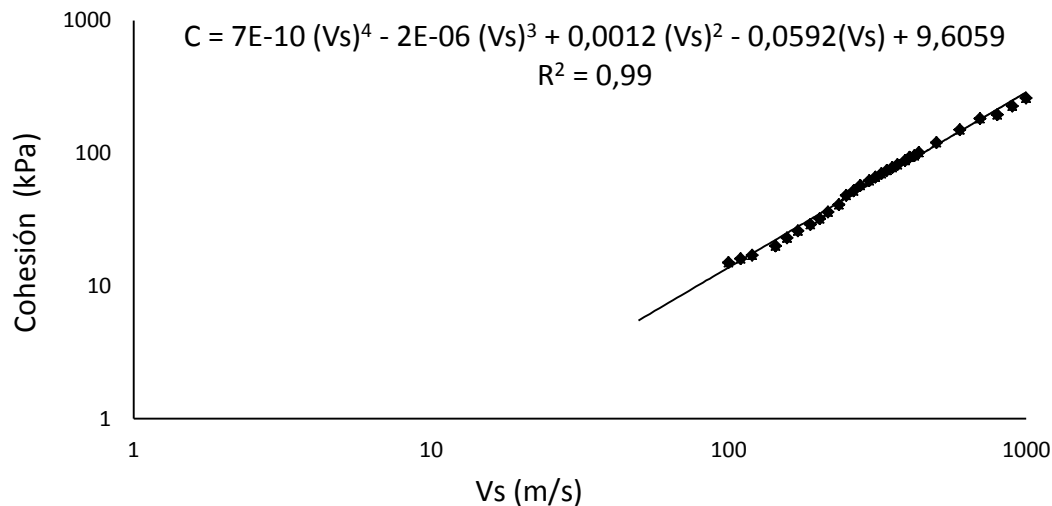
$$S_{uTC} = 0.0672 \cdot V_s^{1.33}$$

**Ecuación 7.** Relación entre velocidad de onda de corte y resistencia a cortante.



**Figura 5.** Resistencia al corte no drenado por compresión triaxial frente a  $V_s$  para arcillas firmes, suaves, jóvenes, envejecidas, rígidas, y suelo fisurado en escala logarítmica (Agaiby & Mayne, 2015).

La empresa *Geo&Geo*, dispone de una base de datos con información recopilada a lo largo de su trayectoria, con estudios en deslizamientos de taludes realizados en distintos sitios en las provincias de Cañar y Azuay y Morona Santiago. Se ha creado una relación entre  $V_s$  y los valores de  $C$  y  $\Phi$ .



**Figura 6.** Gráfico de cohesión en función de velocidad de onda de corte en escala logarítmica.

Con la recopilación de información de diferentes sectores del austro ecuatoriano. Se han obtenido datos de: cohesión y fricción de los suelos (arcillosos y limosos) en función de  $V_s$ , hasta alcanzar un factor de seguridad  $(R) = 0,99$ . Generando el gráfico de la Figura 6.

## 2.6. Relación entre N-SPT y su cohesión no drenada ( $S_u$ ).

Muchos autores han propuesto relaciones entre el valor de  $N-SPT$  y la resistencia no drenada de suelos arcillosos. Es decir, que contando con resultados del ensayo SPT en suelos arcillosos, es factible aproximar su resistencia cortante no drenada, tal como muestra la Tabla 4. Sin embargo, algunos autores como (Ladd et al. 1977), (Robertson, 1986), consideran que los valores de ( $S_u$ ) obtenidos a partir de los valores  $N-SPT$  son de poco valor a menos que la arcilla sea relativamente rígida e insensible.



Otros autores como (Casagrande, 1936), (De Mello, 1971), (Schmertmann, 1971) y (Mitchell, Guzikowski, & Villet, 1978) señalan que la sensibilidad a la arcilla puede causar un menor recuento de golpes para una resistencia inalterada dada debido a la pérdida de resistencia durante la penetración del muestreador.

**Tabla 4.** Resistencia a corte no drenada aproximada para suelos cohesivos basados en recuentos de soplado de SPT. Ref (a) (Tschebotarioff, 1973) y, Ref (b) (Parcher & Means, 1968).

N-SPT (ver nota)	Su (kg/cm <sup>2</sup> )		Su (psf)	
	Ref. a	Ref. b	Ref. a	Ref. b
< 2	0.15	< 0.12	300	-
2 – 4	0.15 - 0.3	0.12 - 0.25	300 - 600	250 - 500
4 – 8	0.3 - 0.6	0.25 - 0.5	600 - 1200	500 - 1000
8 – 15	0.6 - 1.2	0.5 - 1.0	1200 - 2400	1000 - 2000
15 – 30	1.2	1.0 - 2.0	2400	2000 - 4000
> 30	> 2.25	> 2.0	> 4500	> 4000

Nota: En esta correlación se utiliza el número de golpes no corregido *N-SPT*. Pero los martillos más utilizados para pruebas *SPT* son los que suministran el 60% de la energía teórica. Lo cual significa que es muy probable que los datos sobre los que se basó la correlación se obtuvieran principalmente de utilizar esos martillos en sus ensayos.

Como recomendación de los autores y porque parece algo muy lógico, se utiliza N60 en esta correlación.



## CAPÍTULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Clasificación de suelos

Los límites líquido y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. La norma a utilizarse es ASTM D4318.

#### 3.1.1. Equipo y procedimiento para límite líquido

Dispositivo mecánico (Copa Casagrande), ranurador, plato de mezclado, espátula, equipo para determinar el contenido de agua, calibrador.

1. Se mezcla el suelo que pasa el tamiz #40 con agua hasta alcanzar una masa homogénea.
2. Se coloca la mezcla en la Copa Casagrande y se enrasa hasta conseguir una masa de 1 cm de altura.
3. Con pasadas firmes del ranurador, se divide la muestra.
4. Se golpea la taza de bronce girando la manija hasta que la muestra se una 1 cm aproximadamente.
5. Se registra el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.
6. Se toma la humedad de la muestra a la que surgió dicha unión.
7. Se repite el procedimiento 4 veces, agregando agua y moldeando la muestra por 5 minutos.

#### 3.1.2. Equipo y procedimiento para límite plástico

Plato de mezclado, espátula, placa de vidrio, equipo para determinar el contenido de agua.

1. Preparar el suelo que pasa el tamiz #40, agregar agua hasta obtener una mezcla posible de amasar.
2. Hacer rollos con la mano hasta que el rollo de suelo presente fisuras cuando este tenga un diámetro de 3 milímetros.



### 3.2. Prospección Geofísica

#### 3.2.1. Equipo y obtención de datos para MASW

Sismógrafo, sensores/geófonos, cable sísmico, fuente, batería de 12 voltios, software de análisis de datos.

Para el ensayo MASW se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se define el eje del sondaje sísmico en campo.
2. Se instalan los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos. El espaciamiento entre geófonos se define en función de la profundidad de exploración requerida y del área libre disponible en la zona de trabajo.
3. Se instala el equipo de adquisición en una superficie limpia y plana, se colocan los respectivos cables.
4. Se genera las señales sísmicas mediante la excitación del medio a través de golpes sobre una placa metálica, para obtener los registros de ondas (Park, Miller, & Xia, 1999).

Los registros se realizan con 12 geófonos en distancias cortas y largas desde una fuente impulsiva, proporcionan una redundancia estadística para medir las velocidades (Georlys, 2016).

#### 3.3.SPT

La Prueba de Penetración Estándar, tal como se define en la ASTM D 1586. Proporciona información sobre procedimientos y equipos de perforación, el muestreador, el martillo, el yunque, el sistema de caída, los tamaños de pozo y muestreo y procedimiento de prueba (Mitchell, 1997).

El ensayo *SPT* consiste en la introducción en el fondo de un sondeo geotécnico de un toma muestras normalizado unido a un tren de varillas, mediante el golpe en la cabeza de ellas con una maza de 63,5 kg de masa, cayendo desde una altura de 76 cm. El golpeo se contabiliza en tres o cuatro tramos de 15 cm de avance cada uno, denominándose valor *N* al promedio de los valores segundo y tercero (Fernández, 2010).

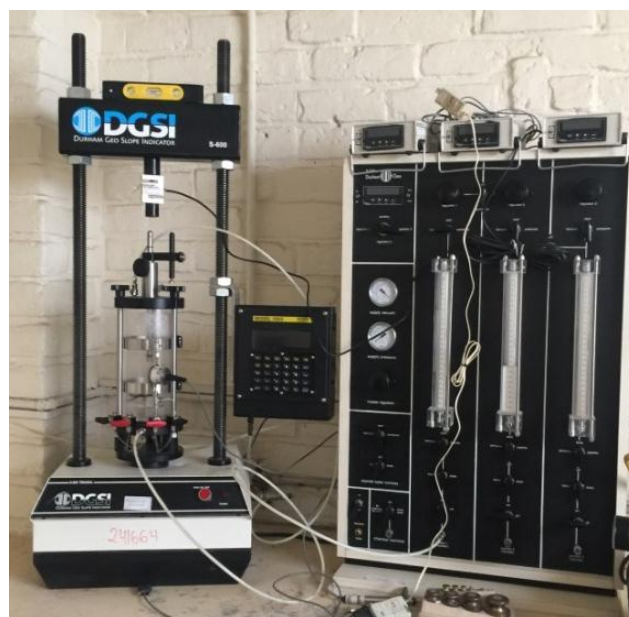
1. Se utiliza una cuerda enrollada alrededor de una polea giratoria (un cabezal) para levantar el martillo. Las varillas de perforación se marcan en tres incrementos de 6 pulgadas.
2. Se registra el número de golpes de martillo necesarios para accionar el muestreador cada incremento de 6 pulgadas. Los recuentos de golpe para los dos últimos incrementos de 6 pulgadas agregados son la resistencia de penetración estándar o el valor  $N$ .
3. Al finalizar la conducción, el muestreador se retira del pozo.
4. Se abre el muestreador de cuchara dividida y se retira y registra la muestra de suelo (Mitchell, 1997).

### 3.4. Ensayo Triaxial

Estos ensayos triaxiales se realizaron con 3 esfuerzos diferentes ( $\sigma_3$ ), a una velocidad de deformación de 0,50 mm/min.

#### 3.4.1. Equipo.

Cámara triaxial, máquina de compresión triaxial (como se observa en la Figura 6), membrana de caucho, molde metálico, compresor de aire, bomba de vacío, balanza de precisión, aproximación 0.1 gr, calibrador, aro-sello de caucho, tallador de muestras, cuchillas, equipo para determinar el contenido de humedad, basados en la Asociación Americana de Ensayo de Materiales ASTM.



*Figura 7. Máquina de compresión triaxial.*





### **3.4.2. Toma de muestras**

El material utilizado para el ensayo triaxial se obtiene mediante un tubo partido, son las muestras del ensayo SPT en Cariamanga-Loja. Los especímenes son tomados cada 5 metros, su máxima profundidad es de 25 metros como se observa en el Anexo 2.

### **3.4.3. Ensayo de laboratorio y procesamiento de datos.**

La norma a utilizarse para el ensayo triaxial es ASTM D2850 “Método de prueba estándar para prueba de compresión triaxial no drenada no consolidada en suelos cohesivos” (ASTM, 1999).

1. Se preparan las probetas, esto consiste en establecer una relación altura – diámetro (H/D) de 2.
2. Se registra su peso, altura y diámetro.
3. Se colocan piedras porosas en el pedestal de la máquina triaxial.
4. Se fija una membrana sobre la muestra de suelo y esta se sujeta con anillos.
5. Se coloca la cámara de ensayo con la muestra en el dispositivo de carga y con el cilindro hueco en adecuada posición.
6. Se llena con fluido (agua).
7. Previo a empezar el ensayo se extrae el aire existente entre en la membrana y la muestra.
8. Se aplica una presión lateral aproximadamente igual a la presión de confinamiento soportada por el suelo a la profundidad a la cual fue tomada la muestra.
9. Se toman datos de la carga aplicada (kg) y de la deformación (cm). Esto se realiza hasta el momento de falla.
10. Se quita la presión y se drena todo el fluido de confinamiento de la cámara.
11. Se requiere un mínimo de 3 presiones de consolidación para definir una envolvente de falla.



### 3.5. Correlación entre $V_s$ y $S_u$ .

Se correlacionan los valores de  $V_s$  obtenidos con el ensayo multicanal de ondas superficiales y los valores de resistencia a cortante considerando solo el valor de cohesión. Ya que los valores de fricción son pequeños se ha decidido ignorarlo en esta sección. Posterior a esto se utilizan dos fuentes bibliográficas para analizar los resultados que presentan con dichas correlaciones halladas anteriormente.

Correlación (se desprecia el valor de fricción, por lo que se asume que la cohesión es igual a  $S_u$ ):

1. Se aplica la Ecuación 7 propuesta por Shehab S. Agaiby y Paul W. Mayne, para obtener el valor de  $S_{UTC}$  en función de  $V_s$ .
2. Se correlaciona el valor de  $S_u$  medido en laboratorio a través del ensayo triaxial, con  $S_{UTC}$  obtenido en el numeral 1.

Relación según Geo&Geo (en este caso no se desprecia la fricción):

1. Se determina el valor de  $C$  y  $\phi$  con la hoja de cálculo de *Geo&Geo*.
2. Diferencia de  $C$  y  $\phi$  con la hoja de cálculo de *Geo&Geo* y valores con el ensayo triaxial.

### 3.6. Relación de $S_u$ de ensayos triaxiales y rango de valores de $S_u$ mediante N-SPT.

El presente trabajo utiliza las correlaciones entre estos dos parámetros como una leve aproximación que permitirá establecer un posible rango de variación del parámetro  $S_u$  y compararlo con los resultados obtenidos por ensayos de laboratorio.

1. Mediante la Tabla 4 establecemos el rango en el que se encuentra  $S_u$ , partiendo con resultados de ensayos *SPT*, ejecutados por Geo&Geo en Cariamanga-Loja, con fecha del 27 de septiembre de 2016.
2. Analizamos si el  $S_u$  determinado en el ensayo triaxial está dentro del rango establecido, o si su resistencia varía de manera significativa.
3. Se realiza el mismo procedimiento con las dos referencias disponibles (Tschebotarioff, 1973) y (Parcher & Means, 1968).

## CAPÍTULO IV

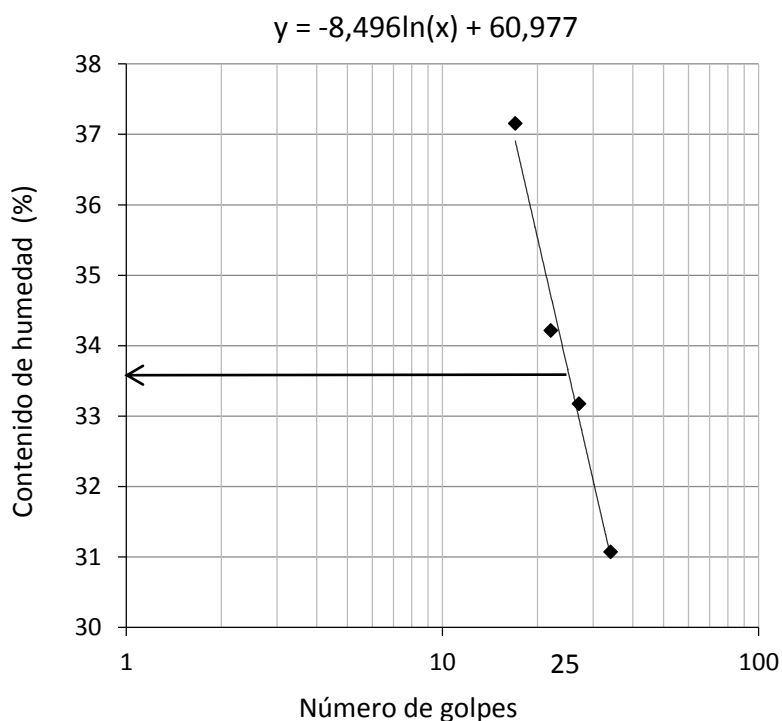
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Clasificación de suelo

El suelo ha sido clasificado según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), obteniendo un suelo CL-ML, arcilla limosa de baja compresibilidad. En el Anexo 1 se observan los datos tomados en laboratorio para el ensayo de: límite líquido Tabla 10 y límite plástico Tabla 11. Los resultados de tales ensayos se aprecian en la Tabla 5 y Figura 8.

**Tabla 5.** Límites de Atterberg medidos en laboratorio.

LÍMITE LÍQUIDO (%):	33,63
LÍMITE PLÁSTICO (%):	26,65
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	6,98



**Figura 8.** Curva de Fluidez



Como se observa en la Figura 8, a los 25 golpes, el contenido de humedad es de 33,63%.

Para elegir la fórmula que se aplica en la correlación según Shehab S. Agaiby y Paul W. Mayne, se estableció que la arcilla es fisurada debido a las características físicas que presenta a simple vista el material.

#### 4.2. Prospección Geofísica

El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales nos brinda mucha información, sin embargo para la presente investigación se consideran solo los resultados de velocidad de onda de corte. Los registros efectuados por los 12 sensores se observa en el Anexo 2, como un reporte a detalle en distintas capas. En este anexo se observa que conforme aumenta la profundidad de suelo, aumenta la Velocidad de Onda de Corte en la zona.

#### 4.3. SPT (Standard Penetration Test)

El resultado del ensayo *SPT* de campo se observa en el Anexo 6. En la Tabla 6 se presentan los valores de *N-SPT* y *N* corregido (*N* 60), que es el valor que se utiliza más adelante.

**Tabla 6.** Valores *N* de *SPT* medidos en campo y *N*60 corregidos.

Profundidad (m)	N - SPT	N 60
3 - 3,5	11	14
5 - 5,5	15	19
11 - 11,5	19	24
13,5 - 14	22,5	28
23 - 23,5	35	44

Al número de golpes *N* que se obtiene en campo, se efectúa una corrección por energía *N* 60.

La variabilidad de sus resultados para un mismo material depende en parte del equipo utilizado y de la corrección en la metodología.

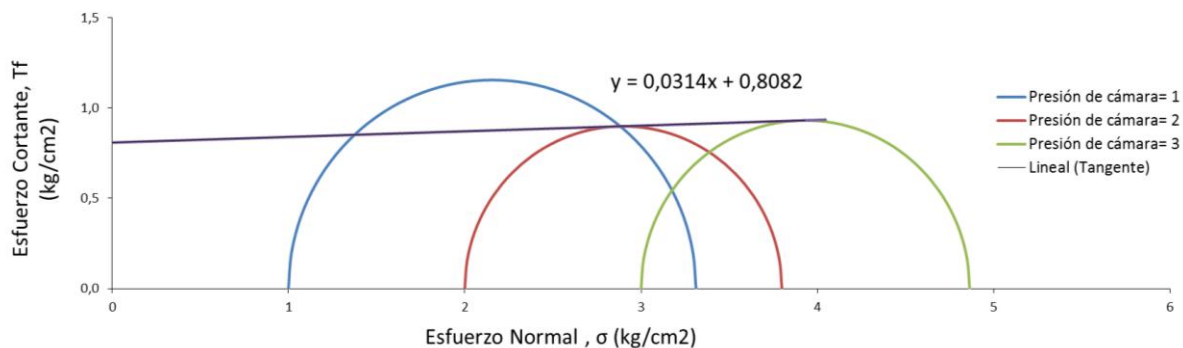
#### 4.4. Ensayo Triaxial

En el Anexo 4 se adjuntan tablas donde se detalla las profundidades a las que se realizó los ensayos (3 ensayos por profundidad) a 5 profundidades distintas. También los diámetros (d) y altura (Hm) de la muestra, así como su peso (W), su volumen (V), su densidad (p) y la presión de cámara ( $\sigma_3$ ) a la que se realizaron cada uno de los ensayos.

En el Anexo antes mencionado se aprecia una tabla con los datos tomados de la carga (P) y las deformaciones que tolera cada muestra durante la ejecución del ensayo triaxial. Inmediato a esto tenemos la Figura (Esfuerzo-Deformación). De esta figura se obtiene varias propiedades mecánicas. El esfuerzo último por ejemplo, en este caso denominado  $(\Delta\sigma)_f$ .

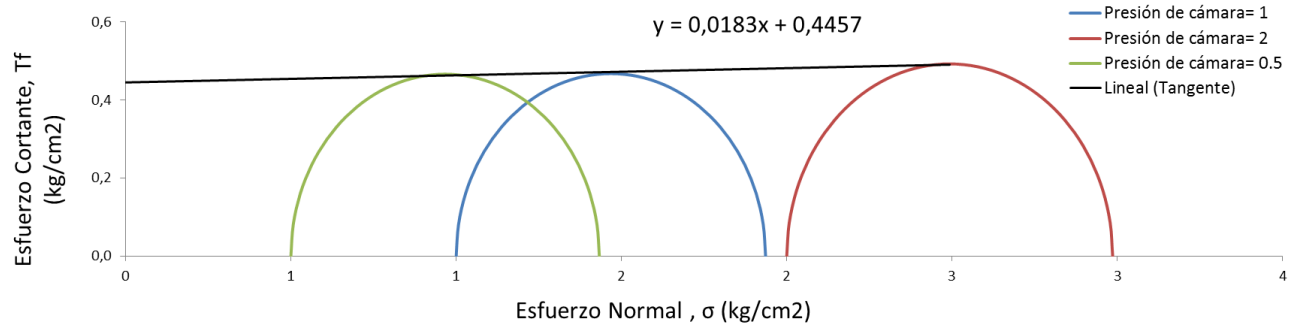
En el Anexo 5 se expone las humedades tomadas después del ensayo triaxial de cada muestra.

A continuación se presenta los círculos de Mohr de cada ensayo triaxial.

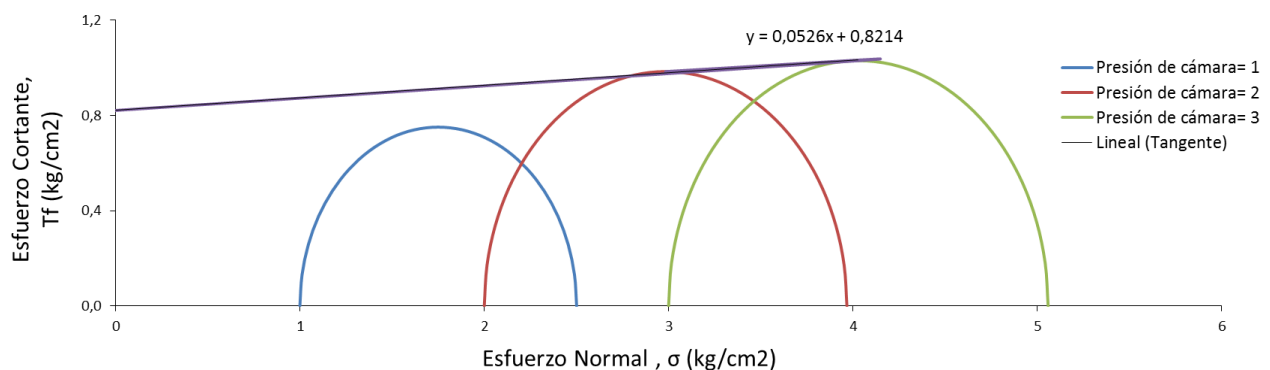
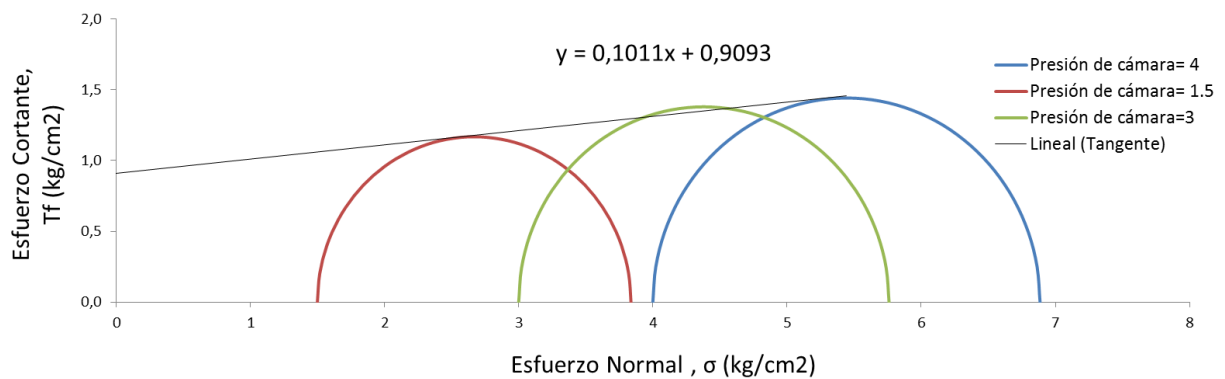


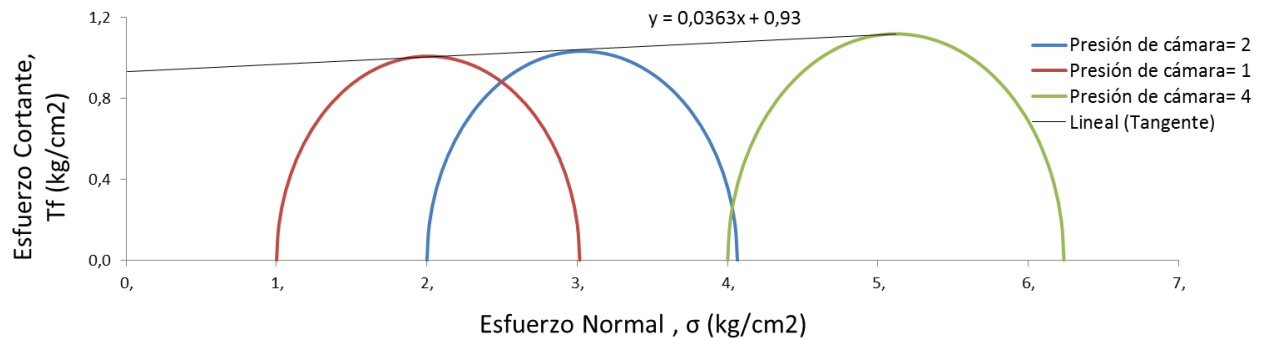
**Figura 9.** Círculo de Mohr del ensayo triaxial a la profundidad de 3 a 3.5 metros.

Observación: La membrana colocada en el primer espécimen (presión de cámara=1), se rompió e ingresó agua a la muestra. Se considera que la muestra no tuvo tiempo de cambiar sus propiedades a pesar de esta inclusión de agua. Sin embargo para la tendencia no se considera la primera muestra porque difiere mucho de las otras dos.



Observación: Las ligas que sujetan la membrana que se colocó en la muestra 6, no estaban en buen estado, no ajustaron bien la membrana permitiendo el ingreso de agua. A pesar del inconveniente consideramos que la muestra no tuvo tiempo de cambiar sus propiedades.





**Figura 13.** *Círculo de Mohr del ensayo triaxial la profundidad de 23 a 23.5 metros.*

La Tabla 7 contiene un resumen de los resultados tanto de la cohesión como del ángulo de fricción a distintas profundidades, también se indica su humedad y densidad.

**Tabla 7.** *Tabla de resumen de resultados de cohesión y fricción obtenidos mediante el ensayo triaxial, así como su humedad y densidad.*

Profundidad (m)	C (kg/cm <sup>2</sup> )	C (kPa)	φ (grados)	Humedad %	Densidad g/cm <sup>3</sup>
3 - 3.5	0,81	79,44	1,80	34,1	1,05
5.5 - 6	0,45	44,13	1,05	61,8	1,05
11 - 11.5	0,91	89,24	5,77	60,7	1,13
13.5 - 14	0,82	80,42	3,01	55,8	1,56
23 - 23.5	0,93	91,20	2,08	42,7	1,08

El material que fue ensayado se conservó cuidadosamente en fundas plásticas como se aprecia en el Anexo 3, por este motivo las muestras perdieron humedad, sin embargo dos de las cinco muestras experimentadas se mantuvieron en tubos Shelby perfectamente sellados, por lo que se considera que son prácticamente inalteradas.

Con los resultados del ensayo triaxial antes mencionado calculamos la resistencia al corte no drenado. Para esto nos apoyamos de la gráfica del círculo de Mohr, pero como la muestra no estuvo saturada vemos que existe un ángulo  $\phi$  formado al trazar las líneas de tendencia de los 3

círculos. Para la primera correlación se establece despreciar el ángulo ya que en la mayoría de los casos es un ángulo pequeño, se considera el valor de  $C$  directamente como  $S_u$  (cohesión o resistencia no drenada).

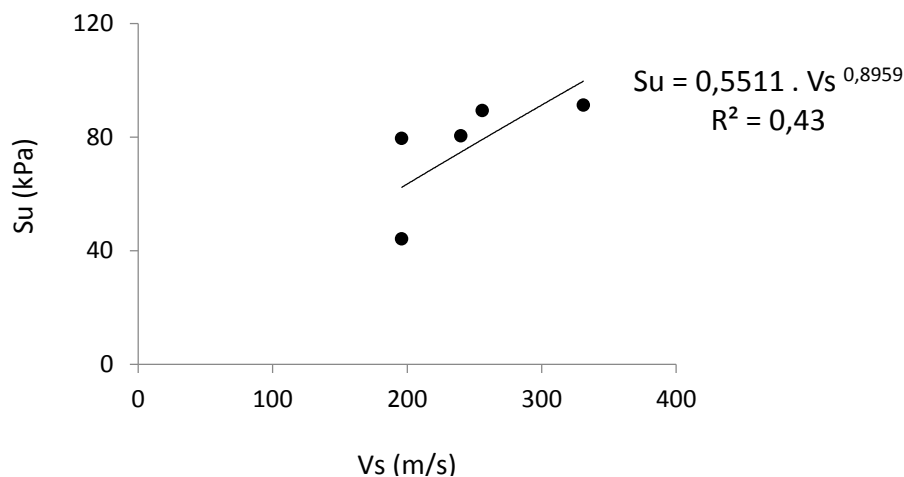
La resistencia a cortante de un suelo siempre va a depender de cómo le llevemos a la rotura, independiente de que suelo sea. En este caso, como es un suelo arcilloso con baja densidad, tiene mayor índice de poros y menor resistencia.

#### 4.5. Correlación entre velocidad de onda de corte ( $V_s$ ) y resistencia a cortante no drenada ( $S_u$ )

En la Figura 14 se observa el resultado de la correlación entre  $S_u$  y  $V_s$ , con un factor de determinación  $R=0,66$ . La correlación resultante de dicha correlación es la siguiente:

$$S_u = 0,5511 \cdot V_s^{0,8959}$$

**Ecuación 8.** Correlación entre  $V_s$  y  $S_u$  de ensayos triaxiales, despreciando en ángulo de fricción.



**Figura 14.** Correlación entre  $S_u$  determinada con ensayos triaxiales

Del Anexo 2 se considera los valores de  $V_s$  (m/s) a distintas profundidades y mediante la Ecuación 7, obtenemos la resistencia a cortante (kPa), los resultados se aprecian en la Tabla 8.

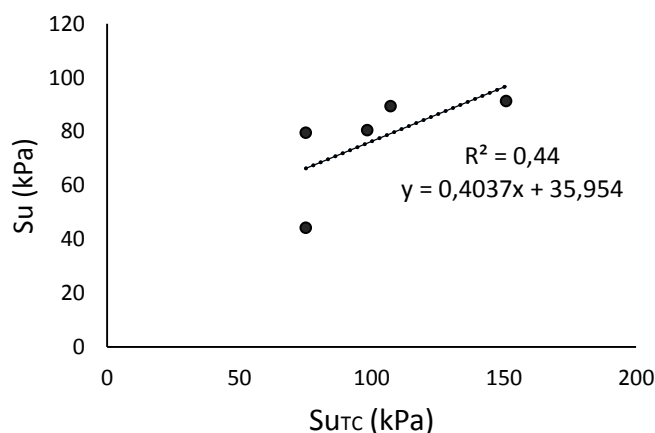


**Tabla 8.** Valor de  $V_s$  y  $S_u$  calculada mediante la Ecuación 7.

Profundidad (m)	$V_s$ (m/s)	$S_{utC}$ (kPa) $s_u = 0.0672 \cdot V_s^{1.33}$
3 - 3.5	196	75,17
5.5 - 6	196	75,17
11 - 11.5	256	107,23
13.5 - 14	240	98,41
23 - 23.5	331	150,92

Se correlaciona la cohesión  $C$  encontrada en el ensayo triaxial, Tabla 7; despreciando su ángulo de fricción y asumiendo que el valor de  $C$  es el valor de resistencia a cortante no drenada, con la fórmula de  $S_{utC}$  para arcillas fisuradas, expresado en la Tabla 8.

Esta correlación se observa en la Figura 14, su coeficiente de determinación es igual a 0,66. Lo que sugiere que la correlación entre las 2 resistencias no es tan buena.



**Figura 15.** Correlación entre  $S_u$  determinada con ensayos triaxiales y  $S_{utC}$  determinada con ecuación 7.

Los valores encontrados con geotecnia reflejan una menor resistencia, producto de ensayar muestras con menor contenido de agua.

Por otro lado, se encuentran los valores de  $C$  y  $\phi$  con la segunda propuesta planteada por Geo&Geo, en este caso podemos comparar los datos directamente con la Tabla 7, sin despreciar los valores de  $\phi$ .



**Tabla 9.** Valores de cohesión y fricción estimados con correlación de Geo&Geo.

Profundidad (m)	C (kPa)	$\phi$ (grados)
3 - 3.5	29,00	4,00
5.5 – 6	29,00	4,00
11 - 11.5	48,00	7,00
13.5 - 14	41,00	6,00
23 - 23.5	70,00	11,00

Respecto a la relación de datos encontrados mediante el ensayo triaxial con la correlación planteada por Geo&Geo, se observa claramente que esta última estima valores de cohesión menores y fricciones mayores a los resultados de laboratorio, a pesar de que se presume que por la pérdida de agua los ensayos triaxiales presentaron una resistencia menor, los resultados emitidos por la hoja de cálculo de *Geo&Geo* proporcionan una resistencia aún menor a la obtenida con el ensayo triaxial.

#### **4.6. Relación entre N-SPT y su cohesión no drenada ( $S_u$ )**

En la Tabla 4 se establece un rango de valores de  $S_u$  en función de los valores de N de SPT tomados en campo. La relación consiste en analizar si las resistencias encontrados mediante el ensayo triaxial Tabla 7, corresponden al rango establecido de  $S_u$ . Se determina que uno de los cinco valores si están dentro del rango establecido, pero los demás valores tienen una resistencia menor y no están dentro del rango.

A pesar de que uno de los valores está dentro del rango establecido por los dos autores, los demás valores no coinciden y tienen una resistencia menor a la implantada en la Tabla 7, según las dos referencias. Esto puede deberse a la pérdida de humedad en las muestras el momento de ensayarlas.



## CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Se realizaron 15 ensayos triaxiales, 3 especímenes por cada una de las 5 profundidades estudiadas; estas fueron de 3 a 3.5 metros, 5.5 a 6 metros, 11 a 11.5 metros, 13.5 a 14 metros y 23 a 23.5 metros. En el Anexo 4 se detalla los diámetros (d) y altura (Hm) de cada muestra, así como su peso (W), su volumen (V), su densidad (p) y la presión de cámara ( $\sigma_3$ ) a la que se realizaron cada uno de los ensayos. También se observa una tabla con los datos tomados de la carga (P) y las deformaciones que tolera cada muestra durante la ejecución del ensayo triaxial. Después de esto tenemos la Figura (Esfuerzo-Deformación) donde se aprecia claramente que las envolventes de falla no son una línea horizontal, esto se debe a que las muestras no estaban saturadas.
- La resistencia a cortante de un suelo siempre va a depender de cómo le llevemos a la rotura, independiente de que suelo sea, aquí se utilizó el método no consolidado-no drenado (UU) de muestras semisaturadas. Sin embargo en los cálculos posteriores se desprecia el valor de la fricción del suelo. La Tabla 7 contiene un resumen de los resultados tanto de la cohesión como del ángulo de fricción a distintas profundidades, también se indica su humedad y densidad. En este caso, como es un suelo arcilloso con baja densidad, tiene mayor índice de poros y menor resistencia.
- Del Anexo 2 se considera los valores de  $V_s$  (m/s) a distintas profundidades y mediante la Ecuación 7, obtenemos la resistencia a cortante (kPa), los resultados se aprecian en la Tabla 8. Se correlacionan dichos parámetros, obteniendo una correlación de  $S_u = 0,5511 \cdot V_s^{0,8959}$  con un factor de determinación de 0,66. El factor no toma un valor más cercano a 1 por los pocos ensayos realizados ya que no se disponía de más material para obtener una mejor línea de tendencia y una fórmula más aproximada.



- Para comparar ciertos resultados se correlaciona la cohesión  $C$  encontrada en el ensayo triaxial, Tabla 7; despreciando su ángulo de fricción y asumiendo que el valor de  $C$  es el valor de resistencia a cortante no drenada, con la fórmula de  $S_{urc}$  para arcillas fisuradas, expresado en la Tabla 8. Esta correlación se observa en la Figura 14, su coeficiente de determinación (factor  $R$ ) es igual a 0,66. Lo que sugiere que la correlación entre las 2 resistencias no es tan buena, por ende no está correlacionado  $S_u$  y  $V_s$  de la manera esperada. Mientras más cercano a 1 es el factor  $R$ , indica una fuerza de relación fuerte entre  $S_u$  y  $V_s$ . Los valores encontrados con geotecnia reflejan una menor resistencia, producto de ensayar muestras con menor contenido de agua.
- Por otro lado, se encuentran los valores de  $C$  y  $\phi$  con la segunda propuesta planteada por Geo&Geo, en este caso podemos comparar los datos directamente con la Tabla 7, sin despreciar los valores de  $\phi$ . Respecto a la relación de datos encontrados mediante el ensayo triaxial con la correlación planteada por Geo&Geo, se observa claramente que esta última estima valores de cohesión menores y fricciones mayores a los resultados de laboratorio, a pesar de que se presume que por la pérdida de agua los ensayos triaxiales presentaron una resistencia menor, los resultados emitidos por la hoja de cálculo de *Geo&Geo* proporcionan una resistencia aún menor a la obtenida con el ensayo triaxial.
- En la Tabla 4 se establece un rango de valores de  $S_u$  en función de los valores de  $N$  de SPT tomados en campo. La relación consiste en analizar si las resistencias encontrados mediante el ensayo triaxial Tabla 7, corresponden al rango establecido de  $S_u$ . Se determina que uno de los cinco valores si están dentro del rango establecido, pero los demás valores tienen una resistencia menor y no están dentro del rango.

A pesar de que uno de los valores está dentro del rango establecido por los dos autores, los demás valores no coinciden y tienen una resistencia menor a la implantada en la Tabla 7, según las dos referencias. Esto puede deberse a la pérdida de humedad en las muestras el momento de ensayarlas.



A pesar de que se proporciona información valiosa, esta información se restringe a las condiciones en las que se realiza los distintos ensayos. Se verifica que este suelo no encaja perfectamente en las dos correlaciones planteadas; quizás este material tenga su propia correlación o quizá solo sea necesario un estudio con muestras inalteradas y así poder descartar o utilizar definitivamente las propuestas de los autores Shehab S. Agaiby y Paul W. Mayne.

## **5.2. Recomendaciones**

Sin duda se han presentado múltiples inconvenientes, principalmente en el ensayo triaxial; es por esto que se recomienda la realización de ensayos triaxiales con muestras inalteradas o que no hayan perdido significativamente humedad, para así obtener una mejor aproximación del valor de resistencia.

El equipo con el que se realizará los ensayos triaxiales, así como los materiales a utilizarse, debe estar en óptimas condiciones para que no presenten fracturas el momento de la elaboración, haciendo énfasis en la buena condición de los tubos, piedras porosas y membranas.

Se debe contar con suficiente bibliografía para que una vez culminado el trabajo no continúen las incertidumbres del trabajo realizado y se puedan hacer todas las comparaciones y estudios pertinentes.



## **CAPÍTULO VI                      LIMITACIONES Y TRABAJO A FUTURO**

### **6.1. Limitaciones**

- Falta de muestras de suelo para realizar un significativo número de ensayos triaxiales y así precisar una correlación más real con la Velocidad de Onda de Corte.
- Muestras de suelo con humedad alterada.

### **6.2. Trabajo a futuro**

Como trabajo a futuro se plantea el estudio y ensayo de suelos de arcillosa limosa de muestras inalteradas. Se recomienda la utilización de distintos suelos arcillosos y una vez que estén clasificados, analizar si las fórmulas antes planteadas son válidas para el tipo de suelo estudiado.



## BIBLIOGRAFÍA

- Agaiby, S. S., & Mayne, P. W. (2015). Relationship Between Undrained Shear Strength and Shear Wave Velocity for Clays. *Deformation Characteristics of Geomaterials.*, 365.
- ASTM. (1998). Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards.
- ASTM. (1999). D2850 - Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. *ASTM D2850*, 4(July 1995).
- Campano Calvo, J. L., Del Río, M., & Campano Aguirre, J. . (2013). Los métodos geofísicos en los estudios previos del terreno para la rehabilitación de edificios. La iglesia del Monasterio de Santa María de Moreruela (Zamora). *Informes de La Construcción*, 65(529), 17–26. <https://doi.org/10.3989/ic.11.135>
- Casagrande, A. (1936). Characteristics of cohesionless soils affecting the stability of slopes and earth fills. *Boston Society of Civil Engineers*.
- Coulomb, C. A. (1776). Essai sur une application des regles de maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs a l'architecture. *Mem. Div. Sav. Acad.*, 7.
- Das, B. M. (1985). Fundamentos de Ingeniería geotécnica. *Thomson Learning*, 587. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Donohue, S., Long, M., & Gavin, K. (2004). The use of multichannel analysis of surface waves in determining G max for soft clay, (2003), 459–466.
- Fernández, C. (2010). Medida de la energía del ensayo SPT . Correcciones a aplicar En este artículo se presentan los resultados obtenidos en, 1–3.
- GAD Cantonal Calvas, C. (2014). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Calvas 2014-2019. *Calvas, GAD Cantonal*, 462.
- Georys, I. (2016). ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES ( MASW ), 1–5.
- Martinez, V. de rey, & Camacho, C. (2002). Coeficiente De Correlación Lineal De Pearson. *Universidad de Sevilla*, 1(1), 1–20.
- Mitchell, J. K. (1997). Virginia Polytechnic Institute And State University The Charles E . Via , Jr . Department of Civil Engineering CENTER FOR Use Probability in Geotechnical Aspects of Dams and by, (April).
- Mitchell, J. K., Guzikowski, F., & Villet, W. C. B. (1978). The Measurement of Soil Properties in-situ. Present methods. Their applicability and potential.
- Parcher, J. V., & Means, R. E. (1968). SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS. Retrieved from <https://trid.trb.org/view.aspx?id=124867>
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves, 64(June), 800–808.



- Parrales, R. M. (2016). suelos de Managua, (February). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2137.4488>
- Pineda, A. R., & Auvinet, G. (2013). Método del elemento finito estocástico en geotecnia. Enfoque espectral. *Ingeniería, Investigación Y Tecnología*, 14(1), 11–22. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72221-2](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72221-2)
- Robertson, P. K. (1986). “In situ” testing and its application to foundation engineering. *Canadian Geotechnical Journal*, 23(4), 573–594. <https://doi.org/10.1139/t86-086>
- Sáez, E., Humire, F., Leyton, F., & Yáñez, G. (2013). Aplicación del análisis multi-canal de ondas superficiales para la obtención del perfil de velocidades en diferentes tipos de suelos.
- Schmertmann, J. H. (1971). Discussion to de Mello. Proceedings of the fourth Panamerican conference on soil mechanics and foundation engineering., 98.
- Skempton, A. W. (1986). Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. *Géotechnique*, 36(3), 425–447. <https://doi.org/10.1680/geot.1986.36.3.425>
- Tschebotarioff, G. P. (Gregory P. (1973). *Foundations: retaining and earth structures; the art of design and construction and its scientific basis in soil mechanics*. McGraw-Hill.





## ANEXOS

### Anexo 1. Clasificación de suelos

**Tabla 10.** Límite Líquido.

N° DE LATA	56	30	9AT	10AT	94	p	5AT	55
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	48,000	47,700	59,400	54,400	50,100	48,600	54,100	52,600
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	44,600	45,300	54,200	50,800	46,600	43,900	49,200	48,100
PESO DE LATA (gr.):	36,500	33,400	39,000	39,600	37,000	29,200	36,000	36,000
PESO DE SUELO SECO (gr.):	8,100	11,900	15,200	11,200	9,600	14,700	13,200	12,100
PESO DE AGUA (gr.):	3,400	2,400	5,200	3,600	3,500	4,700	4,900	4,500
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	41,975	20,168	34,211	32,143	36,458	31,973	37,121	37,190
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	31,072		33,177		34,216		37,156	
N° DE GOLPES:	34		27		22		17	

**Tabla 11.** Límite Plástico.

N° DE LATA	A	3.2	56B
PESO DE SUELO HÚMEDO + LATA (gr.):	24,900	21,000	18,600
PESO DE SUELO SECO + LATA (gr.):	23,230	19,350	17,350
PESO DE LATA (gr.):	17,000	13,200	12,600
PESO DE SUELO SECO (gr.):	6,230	6,150	4,750
PESO DE AGUA (gr.):	1,670	1,650	1,250
CONTENIDO DE HUMEDAD (%):	26,806	26,829	26,316
LÍMITE PLÁSTICO (%):	26,650		



## Anexo 2. Informe de análisis MASW

### Perfil de campo

Number of layers (half-space excluded) .....	9
Receivers spacing.....	1m
Number of receivers.....	12
Number of modes .....	1

### Capa 1

h [m] .....	2
z [m] .....	-2
Density [kg/m <sup>3</sup> ].....	1554
Poisson .....	0.35
Vs [m/s] .....	184
Vp [m/s] .....	383
Vs min [m/s].....	103
Vs max [m/s] .....	276
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	184

### Capa 2

h [m] .....	3
z [m] .....	-5
Density [kg/m <sup>3</sup> ].....	1578
Poisson .....	0.42
Vs [m/s] .....	196
Vp [m/s] .....	528
Vs min [m/s].....	111
Vs max [m/s] .....	294
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s] .....	196

### Capa 3

h [m] .....	3
z [m] .....	-8



Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1626
Poisson	0.42
Vs [m/s]	218
Vp [m/s]	587
Vs min [m/s]	112
Vs max [m/s]	327
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s]	218

#### Capa 4

h [m]	4
z [m]	-12
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1687
Poisson	0.46
Vs [m/s]	256
Vp [m/s]	941
Vs min [m/s]	128
Vs max [m/s]	512
This layer is not water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s]	256

#### Capa 5

h [m]	5
z [m]	-17
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1660
Poisson	0.48
Vs [m/s]	240
Vp [m/s]	1224
Vs min [m/s]	134
Vs max [m/s]	360
This layer is water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s]	240

#### Capa 6

h [m]	5
z [m]	-22



Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1799
Poisson	0.48
Vs [m/s]	331
Vp [m/s]	1688
Vs min [m/s]	154
Vs max [m/s]	497
This layer is water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s]	331

### Capa 7

h [m]	5
z [m]	-27
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1799
Poisson	0.48
Vs [m/s]	331
Vp [m/s]	1688
Vs min [m/s]	163
Vs max [m/s]	497
This layer is water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s]	331

### Capa 8

h [m]	6
z [m]	-33
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1799
Poisson	0.48
Vs [m/s]	331
Vp [m/s]	1688
Vs min [m/s]	165
Vs max [m/s]	662
This layer is water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s]	331

### Capa 9

h [m]	0
z [m]	-00



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1799
Poisson	0.48
Vs [m/s]	331
Vp [m/s]	1688
Vs min [m/s]	165
Vs max [m/s]	662
This layer is water table	
This layer is not alluvional	
Vs fin.[m/s]	331



### Anexo 3. Evidencia de material.



Foto No. 1 TAPA CAJA-1 SONDEO-2



Foto No. 2 CAJA-1 SONDEO-2





Foto No. 3 TAPA CAJA-2 SONDEO-2



Foto No. 41 CAJA-2 SONDEO-2



Foto No. 52 TAPA CAJA-3 SONDEO-2



Foto No. 63 CAJA-3 SONDEO-2





Foto No. 7 TAPA CAJA-4 SONDEO-2



Foto No. 8 4 CAJA-4 SONDEO-2

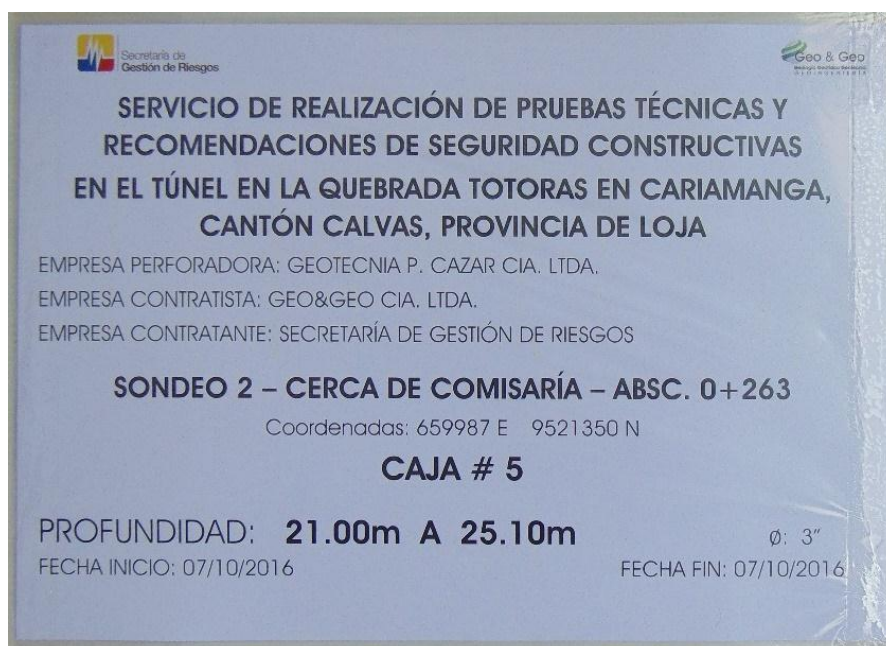


Foto No. 9 TAPA CAJA-5 SONDEO-2



Foto No. 10 CAJA-5 SONDEO-2

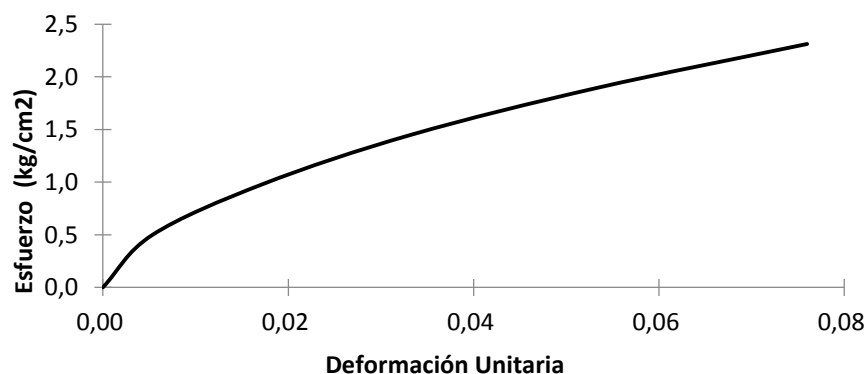
#### Anexo 4. Ensayo Triaxial

**Tabla 12.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 1 antes del ensayo.

(MUESTRA 1)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 3 a 3.5 m		
Diámetro		Área	Esfuerzos	
Ds =	3,6 cm	As = 10,18 cm <sup>2</sup>	d = 3,57 cm	$\sigma_3 = 1,00$ kg/cm <sup>2</sup>
Dc =	3,5 cm	Ac = 9,62 cm <sup>2</sup>	W = 115,09 g	$\sigma_1 = 3,31$ kg/cm <sup>2</sup>
Di =	3,6 cm	Ai = 10,18 cm <sup>2</sup>	V = 74,95 cm <sup>3</sup>	( $\Delta\sigma_d$ )f = 2,31 kg/cm <sup>2</sup>
Hm =	7,5 cm	Am = 9,99 cm <sup>2</sup>	p = 1,05 g/cm <sup>3</sup>	

**Tabla 13.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 1.

<i>P (carga)</i> kg	<i>Deformación</i> cm	<i>Área prom</i> cm <sup>2</sup>	<i>Deform axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> kg/cm <sup>2</sup>
0,00	0,00	9,99	0,00	0,00
5,00	0,04	10,05	0,01	0,50
10,00	0,13	10,17	0,02	0,98
15,00	0,25	10,34	0,03	1,45
20,00	0,40	10,56	0,05	1,89
25,00	0,57	10,81	0,08	2,31



**Figura 16.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 1.

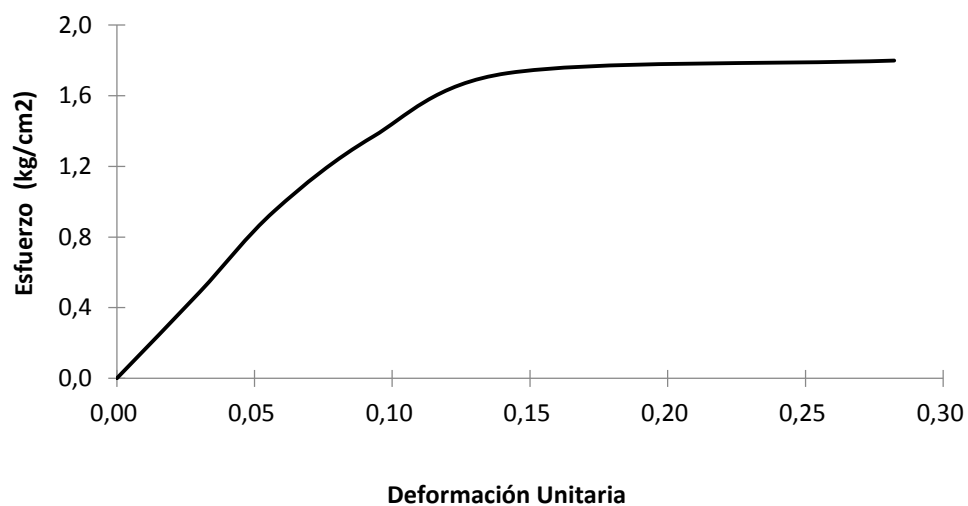


**Tabla 14.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 2 antes del ensayo.

(MUESTRA 2)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 3 a 3.5 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	3,6 cm	As =	10,18 cm <sup>2</sup>	d =	3,56 cm
Dc =	3,5 cm	Ac =	9,62 cm <sup>2</sup>	W =	108,25 g
Di =	3,57 cm	Ai =	10,01 cm <sup>2</sup>	V =	69,36 cm <sup>3</sup>
Hm =	6,98 cm	Am =	9,94 cm <sup>2</sup>	p =	1,05 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	2,00 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	3,80 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	1,80 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 15.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 2.

<i>P (carga)</i> <i>kg</i>	<i>Deformación</i> <i>cm</i>	<i>Área prom</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	<i>Deform axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> <i>kg/cm<sup>2</sup></i>
0,00	0,00	9,94	0,00	0,00
5,00	0,21	10,24	0,03	0,49
10,00	0,40	10,54	0,06	0,95
15,00	0,65	10,96	0,09	1,37
20,00	0,99	11,58	0,14	1,73
24,90	1,97	13,84	0,28	1,80



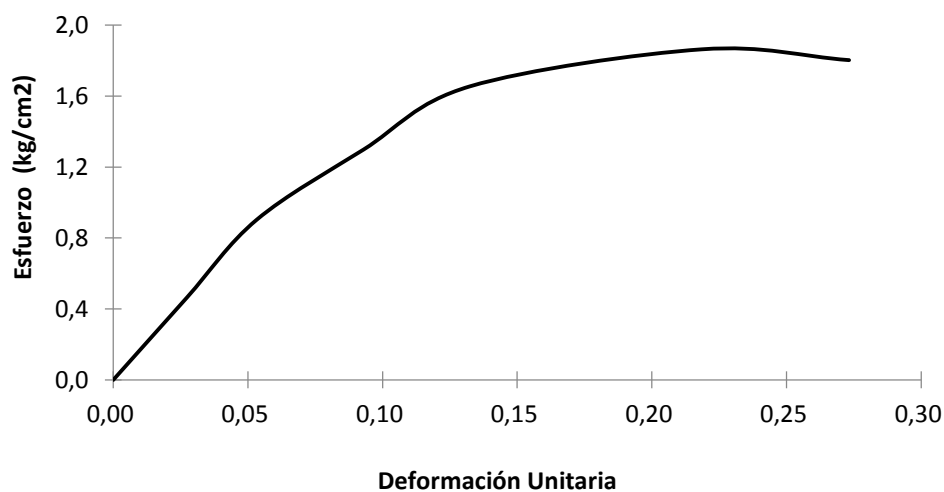
**Figura 17.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 2.

**Tabla 16.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 3 antes del ensayo.

(MUESTRA 3)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 3 a 3.5 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	3,67 cm	As =	10,58 cm <sup>2</sup>	d =	3,65 cm
Dc =	3,66 cm	Ac =	10,52 cm <sup>2</sup>	W =	118,77 g
Di =	3,63 cm	Ai =	10,35 cm <sup>2</sup>	V =	76,73 cm <sup>3</sup>
Hm =	7,32 cm	Am =	10,48 cm <sup>2</sup>	p =	1,05 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	3,00 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	4,86 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	1,86 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 17.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 3.

<i>P (carga)</i> <i>kg</i>	<i>Deformación</i> <i>cm</i>	<i>Área prom</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	<i>Deform axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> <i>kg/cm<sup>2</sup></i>
0,00	0,00	10,48	0,00	0,00
5,00	0,20	10,78	0,03	0,46
10,00	0,39	11,07	0,05	0,90
15,00	0,68	11,56	0,09	1,30
20,00	0,97	12,08	0,13	1,66
25,00	1,60	13,42	0,22	1,86
26,00	2,00	14,42	0,27	1,80



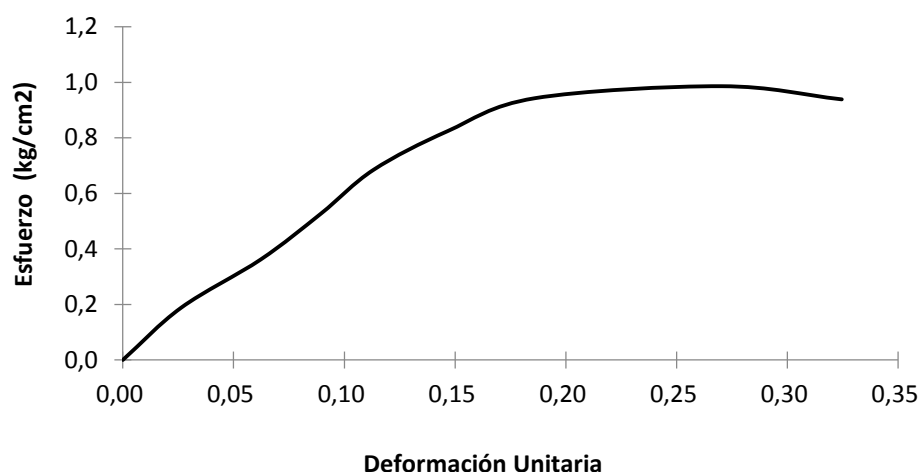
**Figura 18.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 3.

**Tabla 18.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 4 antes del ensayo.

(MUESTRA 4)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 5.5 a 6 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	5,6 cm	As =	24,63 cm <sup>2</sup>	d =	5,67 cm
Dc =	5,8 cm	Ac =	26,42 cm <sup>2</sup>	W =	474,8 g
Di =	5,6 cm	Ai =	24,63 cm <sup>2</sup>	V =	277,24 cm <sup>3</sup>
Hm =	10,99 cm	Am =	25,23 cm <sup>2</sup>	p =	1,05 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	1,00 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	1,94 kg/cm <sup>2</sup>
				( $\Delta\sigma_d$ )f =	0,94 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 19.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 4

<i>P (carga)</i> <i>kg</i>	<i>Deformación</i> <i>cm</i>	<i>Área prom</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	<i>Deform axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> <i>kg/cm<sup>2</sup></i>
0,00	0,00	25,23	0,00	0,00
5,00	0,07	25,39	0,01	0,20
10,00	0,25	25,81	0,02	0,39
15,00	0,54	26,53	0,05	0,57
20,00	0,92	27,53	0,08	0,73
25,00	1,41	28,94	0,13	0,86
30,00	2,34	32,05	0,21	0,94
30,80	3,00	34,70	0,27	0,89



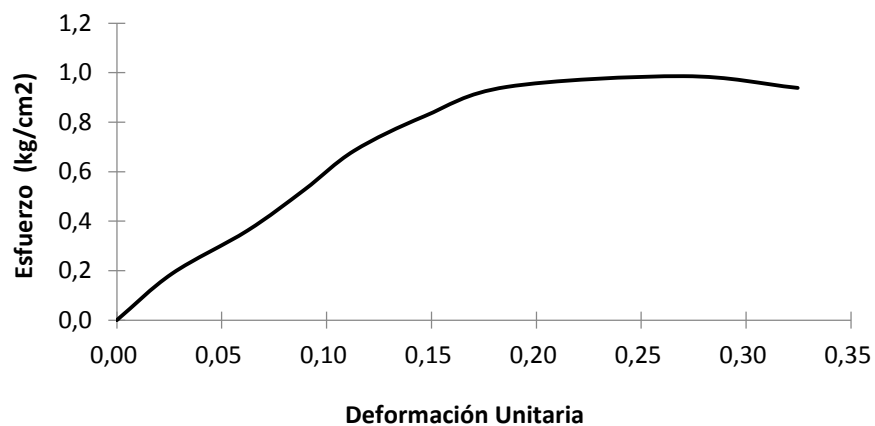
**Figura 19.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 4.

**Tabla 20.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 5 antes del ensayo.

(MUESTRA 5)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 5.5 a 6 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	5,72 cm	As =	25,70 cm <sup>2</sup>	d =	5,74 cm
Dc =	5,8 cm	Ac =	26,42 cm <sup>2</sup>	W =	488,3 g
Di =	5,71 cm	Ai =	25,61 cm <sup>2</sup>	V =	295,35 cm <sup>3</sup>
Hm =	11,4 cm	Am =	25,91 cm <sup>2</sup>	p =	1,05 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	2,00 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	2,99 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	0,99 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 21.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 5.

<i>P (carga)</i> <i>kg</i>	<i>Deformación</i> <i>cm</i>	<i>Área prom</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	<i>Deform axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> <i>kg/cm<sup>2</sup></i>
0,00	0,00	25,91	0,00	0,00
5,00	0,30	26,61	0,03	0,19
10,00	0,71	27,63	0,06	0,36
15,00	1,02	28,45	0,09	0,53
20,00	1,29	29,21	0,11	0,68
25,00	1,67	30,36	0,15	0,82
30,00	2,12	31,83	0,19	0,94
35,00	3,08	35,50	0,27	0,99
36,00	3,70	38,36	0,32	0,94



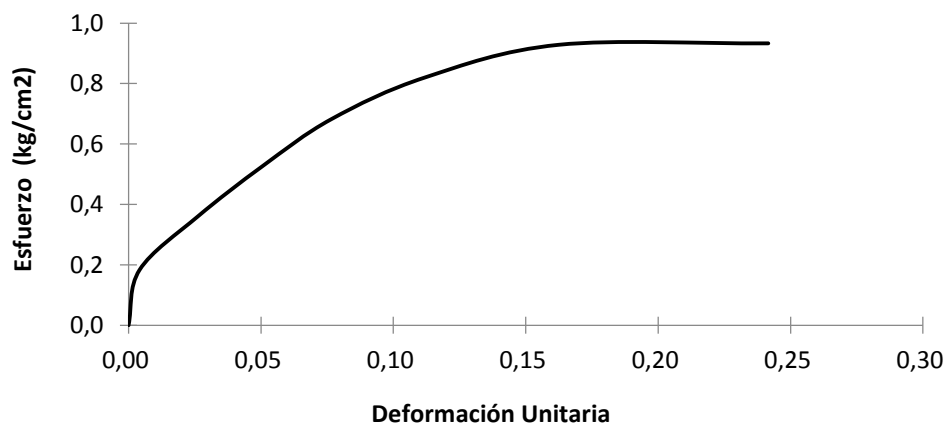
**Figura 20.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 5.

**Tabla 22.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 6 antes del ensayo.

(MUESTRA 6)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 5.5 a 6 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	5,8 cm	As =	26,42 cm <sup>2</sup>	d =	5,87 cm
Dc =	5,96 cm	Ac =	27,90 cm <sup>2</sup>	W =	515,1 g
Di =	5,85 cm	Ai =	26,88 cm <sup>2</sup>	V =	321,54 cm <sup>3</sup>
Hm =	11,88 cm	Am =	27,07 cm <sup>2</sup>	p =	1,05 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	0,50 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	0,43 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	0,93 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 23.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 6.

<i>P (carga)</i> <i>kg</i>	<i>Deformación</i> <i>cm</i>	<i>Área prom</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	<i>Deform</i> <i>axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> <i>kg/cm<sup>2</sup></i>
0,00	0,00	27,07	0,00	0,00
5,00	0,05	27,18	0,00	0,18
10,00	0,31	27,79	0,03	0,36
15,00	0,60	28,51	0,05	0,53
20,00	0,91	29,31	0,08	0,68
25,00	1,33	30,48	0,11	0,82
30,00	1,93	32,32	0,16	0,93
33,30	2,87	35,69	0,24	0,93



**Figura 21.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 6

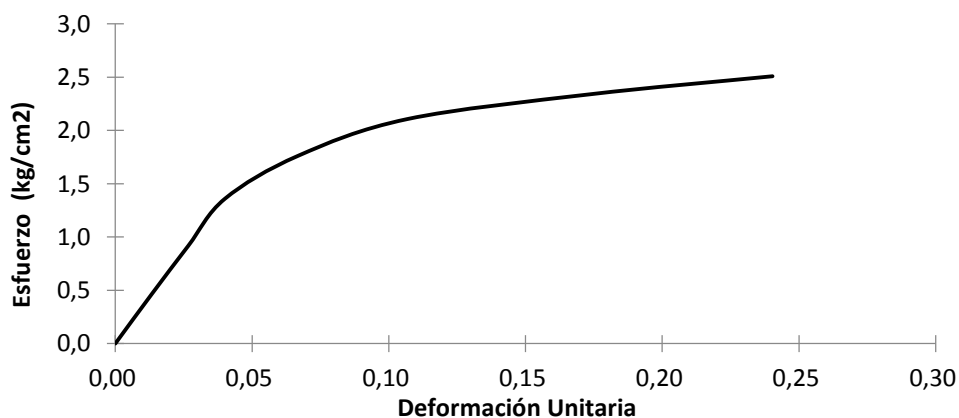


**Tabla 24.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 7 antes del ensayo.

(MUESTRA 7)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 11 a 11.5 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	3,65 cm	As =	10,46 cm <sup>2</sup>	d =	3,67 cm
Dc =	3,65 cm	Ac =	10,46 cm <sup>2</sup>	W =	125,04 g
Di =	3,72 cm	Ai =	10,87 cm <sup>2</sup>	V =	79,38 cm <sup>3</sup>
Hm =	7,49 cm	Am =	10,60 cm <sup>2</sup>	p =	1,13 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	4,00 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	6,89 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	2,89 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 25.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 7

<i>P (carga)</i> <i>kg</i>	<i>Deformación</i> <i>cm</i>	<i>Área prom</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	<i>Deform axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> <i>kg/cm<sup>2</sup></i>
0,00	0,00	10,60	0,00	0,00
5,00	0,10	10,74	0,01	0,47
10,00	0,20	10,89	0,03	0,92
15,00	0,30	11,04	0,04	1,36
20,00	0,50	11,36	0,07	1,76
25,00	0,80	11,87	0,11	2,11
30,00	1,30	12,82	0,17	2,34
35,00	1,80	13,95	0,24	2,51
40,00	2,00	14,46	0,27	2,77
45,00	2,40	15,60	0,32	2,89
50,00	3,00	17,68	0,40	2,83
53,60	4,00	22,75	0,53	2,36



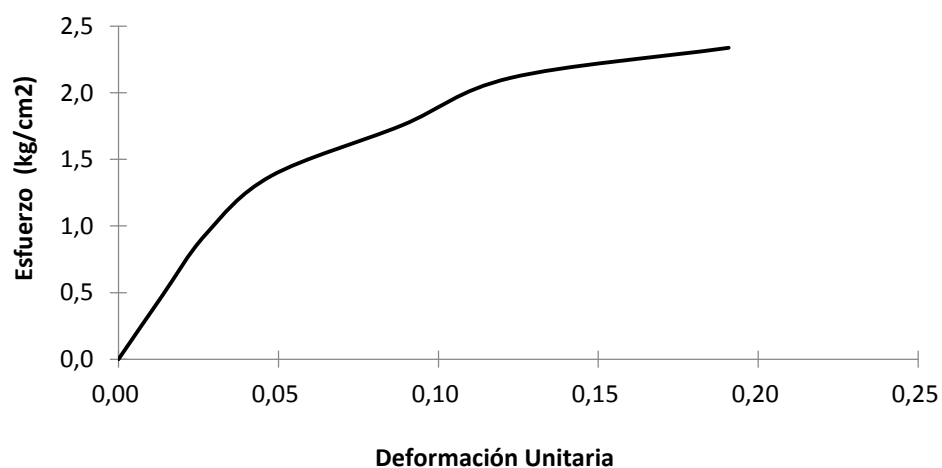
**Figura 22.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 7.

**Tabla 26.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 8 antes del ensayo.

(MUESTRA 8)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 11 a 11.5 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	3,63 cm	As =	10,35 cm <sup>2</sup>	d =	3,64 cm
Dc =	3,67 cm	Ac =	10,58 cm <sup>2</sup>	W =	120,07 g
Di =	3,61 cm	Ai =	10,24 cm <sup>2</sup>	V =	76,25 cm <sup>3</sup>
Hm =	7,34 cm	Am =	10,39 cm <sup>2</sup>	p =	1,13 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	1,50 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	3,84 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	2,34 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 27.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 8

<i>P (carga)</i> <i>kg</i>	<i>Deformación</i> <i>cm</i>	<i>Área prom</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	<i>Deform axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> <i>kg/cm<sup>2</sup></i>
0,00	0,00	10,39	0,00	0,00
5,00	0,10	10,53	0,01	0,47
10,00	0,20	10,68	0,03	0,94
15,00	0,35	10,91	0,05	1,38
20,00	0,65	11,40	0,09	1,75
25,00	0,90	11,84	0,12	2,11
30,00	1,40	12,84	0,19	2,34



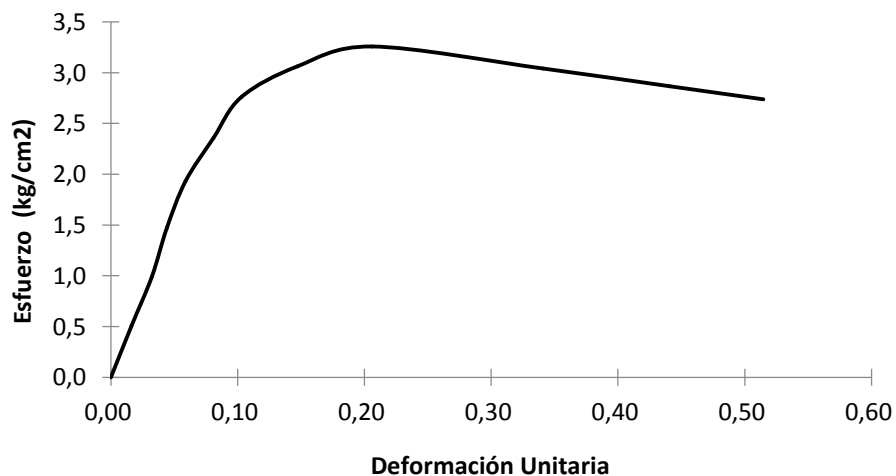
**Figura 23.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 8.

**Tabla 28.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 9 antes del ensayo.

(MUESTRA 9)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 11 a 11.5 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	3,55 cm	As =	9,90 cm <sup>2</sup>	d =	3,52 cm
Dc =	3,52 cm	Ac =	9,73 cm <sup>2</sup>	W =	108,1 g
Di =	3,5 cm	Ai =	9,62 cm <sup>2</sup>	V =	66,30 cm <sup>3</sup>
Hm =	6,8 cm	Am =	9,75 cm <sup>2</sup>	p =	1,13 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	3,00 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	5,76 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	2,76 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 29.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 9

P (carga) kg	Deformación cm	Área prom cm <sup>2</sup>	Deform axial	Esf. Desviador kg/cm <sup>2</sup>
0,00	0,00	9,75	0,00	0,00
5,00	0,11	9,91	0,02	0,50
10,00	0,22	10,08	0,03	0,99
15,00	0,30	10,20	0,04	1,47
20,00	0,40	10,36	0,06	1,93
25,00	0,55	10,61	0,08	2,36
30,00	0,70	10,87	0,10	2,76
35,00	1,00	11,43	0,15	3,06
40,00	1,40	12,28	0,21	3,26
45,00	2,32	14,80	0,34	3,04
50,00	3,00	17,45	0,44	2,87
55,00	3,50	20,09	0,51	2,74



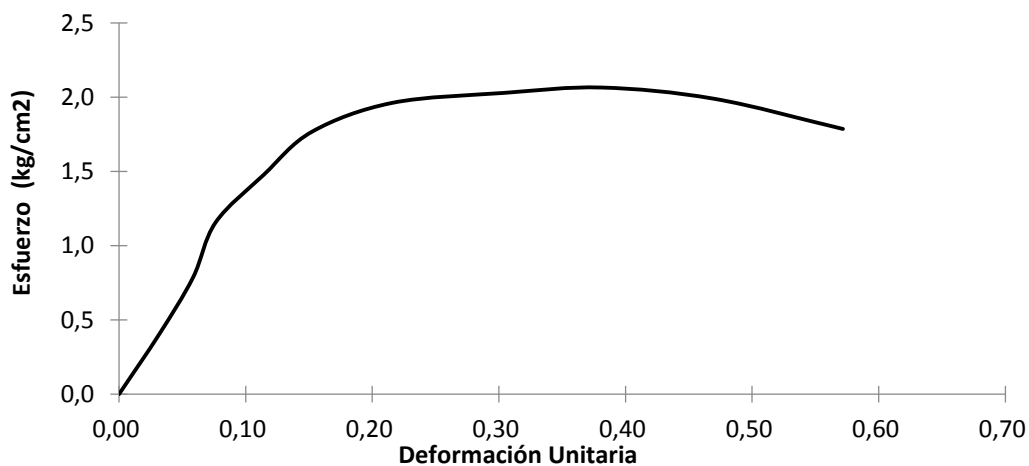
**Figura 24.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 9.

**Tabla 30.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 13 antes del ensayo.

(MUESTRA 13)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 23 a 23.5 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	3,85 cm	As =	11,64 cm <sup>2</sup>	d =	3,91 cm
Dc =	3,9 cm	Ac =	11,95 cm <sup>2</sup>	W =	157,8 g
Di =	3,97 cm	Ai =	12,38 cm <sup>2</sup>	V =	94,35 cm <sup>3</sup>
Hm =	7,87 cm	Am =	11,99 cm <sup>2</sup>	p =	1,08 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	2,00 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	4,06 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	2,06 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 31.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 13.

<i>P (carga)</i> <i>kg</i>	<i>Deformación</i> <i>cm</i>	<i>Área prom</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	<i>Deform axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> <i>kg/cm<sup>2</sup></i>
0,00	0,00	11,99	0,00	0,00
5,00	0,25	12,38	0,03	0,40
10,00	0,46	12,73	0,06	0,79
15,00	0,60	12,98	0,08	1,16
20,00	0,90	13,54	0,11	1,48
25,00	1,20	14,15	0,15	1,77
30,00	1,70	15,29	0,22	1,96
35,00	2,40	17,25	0,30	2,03
40,00	3,00	19,37	0,38	2,06
45,00	3,70	22,63	0,47	1,99
50,00	4,50	28,00	0,57	1,79



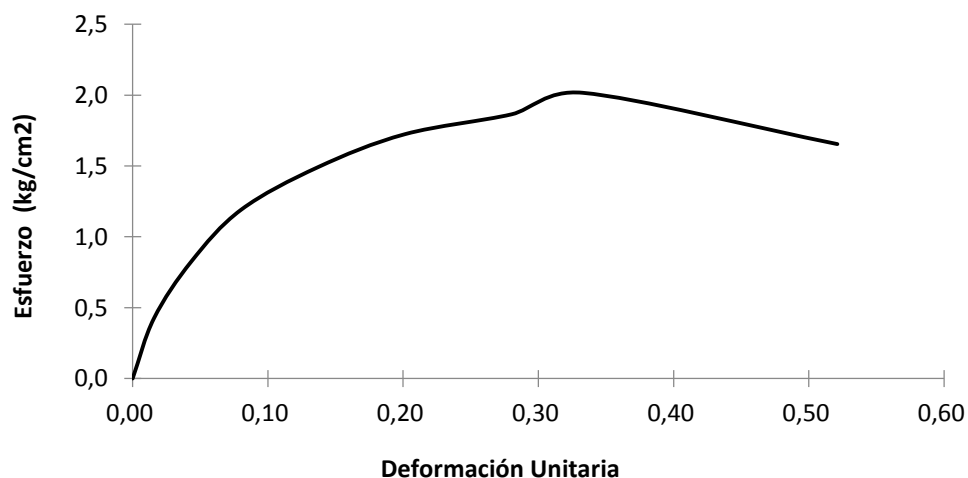
**Figura 25.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 13.

**Tabla 32.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 14 antes del ensayo.

(MUESTRA 14)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 23 a 23.5 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	3,85 cm	As =	11,64 cm <sup>2</sup>	d =	3,84 cm
Dc =	3,85 cm	Ac =	11,64 cm <sup>2</sup>	W =	151,5 g
Di =	3,82 cm	Ai =	11,46 cm <sup>2</sup>	V =	88,02 cm <sup>3</sup>
Hm =	7,6 cm	Am =	11,58 cm <sup>2</sup>	p =	1,08 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	1,00 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	3,02 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	2,02 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 33.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 14.

<i>P (carga)</i> <i>kg</i>	<i>Deformación</i> <i>cm</i>	<i>Área prom</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	<i>Deform axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> <i>kg/cm<sup>2</sup></i>
0,00	0,00	11,58	0,00	0,00
5,00	0,12	11,77	0,02	0,42
10,00	0,33	12,11	0,04	0,83
15,00	0,61	12,59	0,08	1,19
20,00	1,04	13,42	0,14	1,49
25,00	1,53	14,50	0,20	1,72
30,00	2,13	16,09	0,28	1,86
35,00	2,53	17,36	0,33	2,02
40,00	3,96	24,18	0,52	1,65
45,00	5,65	45,14	0,74	1,00
48,00	7,00	146,70	0,92	0,33



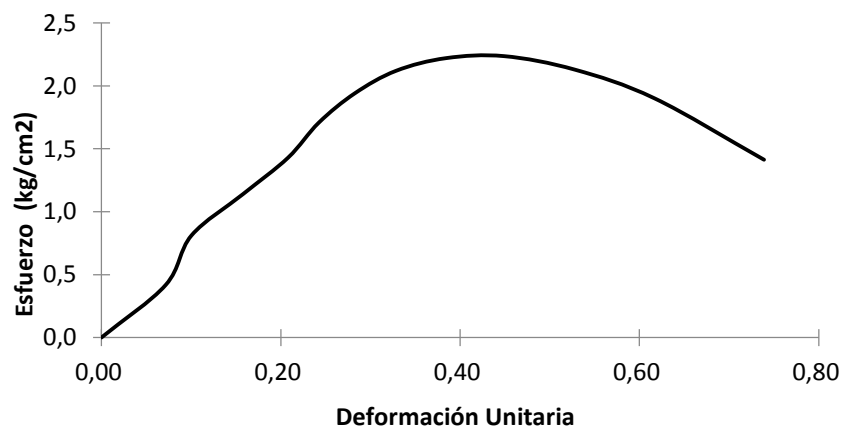
**Figura 26.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 14.

**Tabla 34.** Diámetros, altura, área y presión de cámara ( $\sigma_3$ ) de la muestra 15 antes del ensayo.

(MUESTRA 15)		ENSAYO TRIAXIAL (UU) - 23 a 23.5 m			
Diámetro		Área		Esfuerzos	
Ds =	3,7 cm	As =	10,75 cm <sup>2</sup>	d =	3,76 cm
Dc =	3,77 cm	Ac =	11,16 cm <sup>2</sup>	W =	138,6 g
Di =	3,8 cm	Ai =	11,34 cm <sup>2</sup>	V =	77,26 cm <sup>3</sup>
Hm =	6,97 cm	Am =	11,09 cm <sup>2</sup>	p =	1,08 g/cm <sup>3</sup>
				$\sigma_3 =$	4,00 kg/cm <sup>2</sup>
				$\sigma_1 =$	6,24 kg/cm <sup>2</sup>
				$(\Delta\sigma_d)f =$	2,24 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 35.** Carga y deformación tomados de la máquina mediante el ensayo de la muestra 15.

<i>P (carga)</i> kg	<i>Deformación</i> cm	<i>Área prom</i> cm <sup>2</sup>	<i>Deform</i> <i>axial</i>	<i>Esf. Desviador</i> kg/cm <sup>2</sup>
0,00	0,00	11,09	0,00	0,00
5,00	0,50	11,94	0,07	0,42
10,00	0,70	12,32	0,10	0,81
15,00	1,10	13,16	0,16	1,14
20,00	1,45	14,00	0,21	1,43
25,00	1,69	14,63	0,24	1,71
30,00	1,97	15,45	0,28	1,94
35,00	2,29	16,51	0,33	2,12
40,00	2,68	18,01	0,38	2,22
45,00	3,13	20,12	0,45	2,24
50,00	3,68	23,48	0,53	2,13
55,00	4,30	28,94	0,62	1,90
60,00	5,15	42,45	0,74	1,41
65,00	6,32	118,87	0,91	0,55
70,00	8,50	-50,50	1,22	-1,39
75,00	9,00	-38,06	1,29	-1,97
78,80	13,00	-12,81	1,87	-6,15



**Figura 27.** Curva Esfuerzo-Deformación de la muestra 15.



## Anexo 5. Humedades tomadas después del ensayo triaxial

**Tabla 36.** Datos para tomar la humedad de la muestra 1, 2 y 3.

Humedad	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3	
Recipiente n°	A	B	C	D	E	F
Peso del recipiente (gr)	45,60	35,20	37,72	38,95	39,87	41,30
Recipiente + Mh(gr)	85,90	62,70	70,47	77,62	79,30	73,60
Recipiente + Ms(gr)	75,00	55,42	61,50	67,89	70,00	66,28
Peso del agua(gr)	10,90	7,28	8,97	9,73	9,30	7,32
Peso de los sólidos (gr)	29,40	20,22	23,78	28,94	30,13	24,98
w%	37,07	36,00	37,72	33,62	30,87	29,30
w% promedio	36,54		35,67		30,08	

**Tabla 37.** Datos para tomar la humedad de la muestra 4, 5 y 6.

Humedad	MUESTRA 4		MUESTRA 5		MUESTRA 6	
Recipiente n°	A	B	C	D	X	Y
Peso del recipiente (gr)	41,80	39,70	38,00	40,50	40,60	6,80
Recipiente + Mh(gr)	98,30	93,60	89,50	92,90	92,10	62,70
Recipiente + Ms(gr)	76,50	73,50	69,40	73,00	71,50	42,50
Peso del agua(gr)	21,80	20,10	20,10	19,90	20,60	20,20
Peso de los sólidos (gr)	34,70	33,80	31,40	32,50	30,90	35,70
w%	62,82	59,47	64,01	61,23	66,67	56,58
w% promedio	61,15		62,62		61,62	



**Tabla 38.** Datos para tomar la humedad de la muestra 7, 8 y 9.













<b>Humedad</b>	<b>MUESTRA 7</b>		<b>MUESTRA 8</b>		<b>MUESTRA 9</b>	
Recipiente n°	1	2	A	B	3	4
Peso del recipiente (gr)	41,92	48,61	45,80	39,50	46,10	40,00
Recipiente + Mh(gr)	75,30	97,83	80,80	71,90	69,00	86,20
Recipiente + Ms(gr)	63,00	79,43	67,60	59,40	60,60	68,00
Peso del agua(gr)	12,30	18,40	13,20	12,50	8,40	18,20
Peso de los sólidos (gr)	21,08	30,82	21,80	19,90	14,50	28,00
w%	58,35	59,70	60,55	62,81	57,93	65,00
w% promedio	59,03		61,68		61,47	

**Tabla 39.** Datos para tomar la humedad de la muestra 13, 14 y 15.

<b>Humedad</b>	<b>MUESTRA 13</b>		<b>MUESTRA 14</b>		<b>MUESTRA 15</b>	
Recipiente n°	X	Y	3	1.2	A	B
Peso del recipiente (gr)	45,60	39,40	40,00	46,10	45,80	35,10
Recipiente + Mh(gr)	85,20	78,80	78,90	83,00	88,60	91,20
Recipiente + Ms(gr)	73,10	66,90	67,30	71,90	75,90	74,80
Peso del agua(gr)	12,10	11,90	11,60	11,10	12,70	16,40
Peso de los sólidos (gr)	27,50	27,50	27,30	25,80	30,10	39,70
w%	44,00	43,27	42,49	43,02	42,19	41,31
w% promedio	43,64		42,76		41,75	



**Registro fotográfico después del ensayo de las muestras de las que se toma la humedad.**

MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
		
MUESTRA 4	MUESTRA 5	MUESTRA 6
		
MUESTRA 7	MUESTRA 8	MUESTRA 9
		
MUESTRA 13	MUESTRA 14	MUESTRA 15
		



## Anexo 6. Registro de sondeo sin introducción de agua

REGISTRO DE SONDEO SIN INTRODUCCIÓN DE AGUA																				
		PROYECTO: SERVICIO DE REALIZACIÓN DE PRUEBAS TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD CONSTRUCTIVAS EN EL TÚNEL EN LA QUEBRADA TOTORAS EN CARIAMANGA, CANTÓN CALVAS, PROVINCIA DE LOJA																		
CLIENTE: SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGO		UBICACIÓN REFERENCIAL:														HOJA: 1 DE 5				
SONDEO N°: SND # 2		COORDENADAS N: 9,521,350.045				<input checked="" type="checkbox"/> TOPOGRAFÍA				COTA SUPERFICIE: 1955				FECHA INICIO: 04/10/2016						
COORDENADAS E: 659,987.020		<input type="checkbox"/> GPS												FECHA FIN: 04/10/2016						
PERFIL TIPO DE SUELOS: DIN 4023		BLOQUES		GRAVA		ARENA		LIMO		ARCILLA		ORGÁNICO		ROCA		RELLENO		OPERADOR: R. Tipán ING. RESP: A. Vazquez ING FISCAL: -		
PERFIL		BLOQUES		GRAVA		ARENA		LIMO		ARCILLA		ORGÁNICO		ROCA		RELLENO				
TIPO DE SUELOS: DIN 4023		BLOQUES		GRAVA		ARENA		LIMO		ARCILLA		ORGÁNICO		ROCA		RELLENO				
PROFUNDIDAD	MUESTRA N°	TEXT GRANULAR	TEXT FINA	SUELO PRINCIPAL	SUELO SECUNDARIO	COMPACTACIÓN O CONSISTENCIA	MOY ALTA	MOY MEDIA	MOY BAJA	COLOR	HUMEDAD	MOY ALTA	MOY MEDIA	MOY BAJA	FORMA PARTICULAS	RESISTENCIA EN SECO	TEMPERATURA	OTRAS OBSERVACIONES PRESENCIA DE RAÍCES, AGUA, OLOR.	PENETRACIÓN N° DE GOLPES	PROFUNDIDAD
0.00																				0.00
0.10																				
0.20																				
0.30																				
0.40																				
0.50																				
0.60																				
0.70																				
0.80																				
0.90																				
1.00																				
1.10																				
1.20																				
1.30																				
1.40																				
1.50																				
1.60																				
1.70																				
1.80																				
1.90																				
2.00																				
2.10																				
2.20																				
2.30																				
2.40																				
2.50																				
2.60																				
2.70																				
2.80																				
2.90																				
3.00																				
3.10																				
3.20																				
3.30																				
3.40																				
3.50																				
3.60																				
3.70																				
3.80																				
3.90																				
4.00																				
4.10																				
4.20																				
4.30																				
4.40																				
4.50																				
4.60																				
4.70																				
4.80																				
4.90																				
5.00																				

MONITOREO NIVEL DE AGUA PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:
	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:
	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:

DIÁMETRO PERFORACIÓN
3 Pulg



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

REGISTRO DE SONDEO SIN INTRODUCCIÓN DE AGUA																							
		PROYECTO: SERVICIO DE REALIZACIÓN DE PRUEBAS TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD CONSTRUCTIVAS EN EL TÚNEL EN LA QUEBRADA TOTORAS EN CARIAMANGA, CANTÓN CALVAS, PROVINCIA DE LOJA																					
CLIENTE: SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGO		UBICACIÓN REFERENCIAL:														HOJA: 2 DE 5							
SONDEO N°: SND # 2		COORDENADAS N: 9,521,350.945 COORDENADAS E: 659,987.020														COTA SUPERFICIE: TOPOGRAFÍA GPS				FECHA INICIO: 04/10/2016 FECHA FIN: 04/10/2016			
PERFIL TIPO DE SUELOS: DIN 4023		BLOQUES		GRAVA		ARENA		LIMO		ARCILLA		ORGÁNICO		ROCA		RELLENO		OPERADOR: R. Tiban ING. RESP: A. Vazquez ING. FISCAL: --					
PROFUNDIDAD	MUESTRA N° DESCARDO SHELBY CUCH SPT	PERFIL (OBSUJO)	TEXT GRANULAR TEXT FINA	SUELO PRINCIPAL	SUELO SECUNDARIO	COMPACTACIÓN O CONSISTENCIA	MUY ALTA ALTA MEDIA BAJA MUY BAJA	COLOR	HUMEDAD		FORMA PARTICULAS		RESISTENCIA EN SECO	TENACIDAD	DILATANCIA	OTRAS OBSERVACIONES PRESENCIA DE RAICES, AGUA, OLOR.	PENETRACIÓN N° DE GOLPES			PROFUNDIDAD			
									SATURADA + HUMEDA HUMEDA - HUMEDA SECA	BUENA MALA	ANGULAR SUB-ANG REDONDO	DE 0 A 15 cm					DE 15 A 30 cm	DE 30 A 45 cm					
5.00				Roca									baja	media	baja	Roca meteorizada de color café rojizo con partículas blancas y amarillas.	4	6	9				
5.50				Roca									baja	media	baja	Shelby.							
6.00				Roca									baja	media	baja	Roca meteorizada de color café rojizo con partículas blancas y café claro. Ligeramente con mayor presencia de humedad.	4	7	8				
6.50				Roca									baja	media	baja	Roca meteorizada de color café rojizo con partículas blancas y café claro.							
7.00				Roca									baja	media	baja	Cambio de estrato de color lila a partir de 6.60m.							
7.50				Roca									baja	media	baja	Roca meteorizada de color lila con partículas blancas.	6	6	8				
8.00				Roca									baja	media	baja	Roca meteorizada de color lila con partículas blancas.							
8.50				Roca									baja	media	baja	Roca meteorizada de color lila rojizo con partículas blancas.	4	5	6				
9.00				Roca									baja	media	baja	Roca meteorizada de color lila rojizo con partículas blancas.							
9.50				Roca									baja	media	baja	Roca meteorizada de color lila rojizo con partículas blancas.							
10.00				Roca									baja	media	baja	Cambio de estrato a los 9.30m de color lila rojizo a gris.	4	8	9				
				Roca									baja	media	baja	Roca meteorizada de color gris con partículas blancas. Ligeramente con mayor presencia de humedad.							

MONITOREO NIVEL DE AGUA PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	DIÁMETRO PERFORACIÓN  3 Pulg
	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	
	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

REGISTRO DE SONDEO SIN INTRODUCCIÓN DE AGUA																											
		PROYECTO: SERVICIO DE REALIZACION DE PRUEBAS TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD CONSTRUCTIVAS EN EL TÚNEL EN LA QUEBRADA TOTORAS EN CARIAMANGA, CANTÓN CALVAS, PROVINCIA DE LOJA																									
CLIENTE: SECRETARIA DE GESTION DE RIESGO		UBICACIÓN REFERENCIAL:												HOJA: 3 DE 5													
SONDEO N°: SND # 2		COORDENADAS N: 9,521,350.045				<input checked="" type="checkbox"/> TOPOGRAFIA		COTA SUPERFICIE:		FECHA INICIO: 05/10/2016																	
COORDENADAS E: 659,987.020		<input type="checkbox"/> GPS								FECHA FIN: 05/10/2016																	
PERFIL TIPO DE SUELOS: DIN 4023		BLOQUES		GRAVA		ARENA		LIMO		ARCILLA		ORGÁNICO		ROCA		RELLENO		OPERADOR: R. Tiban									
																		ING. RESP: A. Vazquez									
																		ING FISCAL: -									
PROFUNDIDAD		MUESTRA N°		SUELO (DEBIL)		TEXT. GRANULAR		SUELO PRINCIPAL		SUELO SECUNDARIO		COMPACTIDAD O CONSISTENCIA		COLOR		HUMEDAD		FORMA PARTICULAS		OTRAS OBSERVACIONES PRESENCIA DE RAICES, AGUA, OLORES.		PENETRACIÓN Nº DE GOLPES		PROFUNDIDAD			
		SECUNDARIO		SHELBY		CUCH. SPT																DE 0 A 15 cm		DE 15 A 30 cm		DE 30 A 45 cm	
10.00																					Roca meteorizada de color gris con estratos blancos. Ligeramente con mayor presencia de humedad.	6	10	10			
10.50																					Roca meteorizada de color gris con partículas blancas. Ligeramente con mayor presencia de humedad.						
11.00																					Roca meteorizada de color gris con partículas blancas.	7	9	10			
11.50																					Roca meteorizada de color gris con partículas blancas.						
12.00																					Roca meteorizada de color gris.	3	4	6			
12.50																					Roca meteorizada de color gris. Ligeramente con mayor presencia de humedad.						
13.00																					Roca meteorizada de color gris con partículas blancas.	6	9	10			
13.50																					Shelby.						
14.00																					Roca meteorizada de color gris con partículas blancas.	6	11	15			
14.50																					Roca meteorizada de color gris con partículas blancas.						
15.00																											

MONITOREO NIVEL DE AGUA PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	DIÁMETRO PERFORACIÓN 3 Pulg
	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	
	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	PROFUNDIDAD // FECHA:	

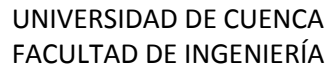




UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

REGISTRO DE SONDEO SIN INTRODUCCIÓN DE AGUA																									
		PROYECTO: SERVICIO DE REALIZACIÓN DE PRUEBAS TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD CONSTRUCTIVAS EN EL TÚNEL EN LA QUEBRADA TOTORAS EN CARIAMANGA, CANTÓN CALVAS, PROVINCIA DE LOJA																							
CLIENTE: SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGO		UBICACIÓN REFERENCIAL:												HOJA: 4 DE 5											
SONDEO N°: <b>SND # 2</b>		COORDENADAS N: 9,521,350.045		COORDENADAS E: 659,957.020		<input checked="" type="checkbox"/> TOPOGRAFÍA <input type="checkbox"/> GPS		COTA SUPERFICIE:		FECHA INICIO: 06/10/2016		FECHA FIN: 06/10/2016													
PERFIL TIPO DE SUELOS: DIN 4023		BLOQUES		GRAVA		ARENA		LIMO		ARCILLA		ORGÁNICO		ROCA		RELLENO		OPERADOR: R. Tipán ING. RESP: A. Vazquez ING. FISCAL: --							
MUESTRA N°		PERFIL (OBJETO)		TEXT FINA		SUELO PRINCIPAL		SUELO SECUNDARIO		COMPACTACIÓN O CONSISTENCIA		COLOR		HUMEDAD		FORMA PARTICULAS		OTRAS OBSERVACIONES PRESENCIA DE RAÍCES, AGUA, OLOR.		PENETRACIÓN N° DE GOLPES		PROFUNDIDAD			
ESCAZAR		SHELBY		CUCH. SPT																DE 0 A 15 cm		DE 15 A 30 cm		DE 30 A 45 cm	
15.00		Roca																Cambio de estrato a 15.30m de material gris a café claro con avioletado.		5		7		8	
15.50		Roca																Roca meteorizada de color café claro avioletado.							
16.00		Roca																Roca meteorizada de color café claro avioletado. Cambio de estrato a 16.35m.							
16.50		Roca																Roca meteorizada de color café claro amarillento con partículas blancas.		4		4		5	
17.00		Arcilla																Arcilla de color café amarillento con partículas blancas. Ligeramente con mayor presencia de humedad.							
17.50		Roca																Roca meteorizada de color café amarillento con partículas blancas.		11		12		13	
18.00		Arcilla																Arcilla de color café amarillento con partículas blancas. Ligeramente con mayor presencia de humedad.							
18.50		Roca																Roca meteorizada de color café amarillento con partículas blancas y grises. Ligeramente con mayor presencia de humedad.		11		12		19	
19.00		Roca																Roca meteorizada de color café amarillento con partículas blancas y grises. Ligeramente con mayor presencia de humedad.							
19.50		Roca																Roca meteorizada de color café amarillento con partículas blancas y grises. Ligeramente con mayor presencia de humedad.		19		28		32	
20.00		Roca																Roca meteorizada de color café amarillento con partículas blancas y grises. Ligeramente con mayor presencia de humedad.							

MONITOREO NIVEL DE AGUA PROFUNDIDAD		PROFUNDIDAD // FECHA:		PROFUNDIDAD // FECHA:		PROFUNDIDAD // FECHA:		DIÁMETRO PERFORACIÓN	
								3 Pulg	

77